Santé Canada Health Canada

Lignes directrices canadiennes pour la gestion des matières radioactives naturelles (MRN)

Canada

101-05727/

Lignes directrices canadiennes pour la gestion des matières radioactives naturelles (MRN)

Rédigées par le
Groupe de travail canadien
sur les MRN du Comité de
radioprotection fédéral-provincial-territorial

Première édition
Octobre 2000

Notre mission est d'aider les Canadiens et les Canadiennes
à maintenir et à améliorer leur état de santé.

Santé Canada

Publication autorisée par le
ministre de la Santé

Also available in English under the title:
*Canadian Guidelines for the Management of
Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)*

On peut obtenir, sur demande, la présente publication
(sur disquette, en gros caractères, sur bande sonore ou en braille).

© Ministre, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 2000
Cat. H46-1/30-2000F
ISBN 0-662-85121-8

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE 5

ABRÉVIATIONS UTILISÉES DANS LES *LIGNES DIRECTRICES* 6

INTRODUCTION 7

1 LES MRN, UN PROBLÈME DE RADIOACTIVITÉ 8

1.1 Définition 8

1.2 Objet des *Lignes directrices canadiennes* sur les MRN 8

1.3 Industries touchées par le rayonnement des MRN 9

1.4 Description et sources de MRN 9

1.4.1 Fond de rayonnement 9

1.4.2 Radionucléides et rayonnement ionisant 9

1.4.3 Période radioactive et série de désintégration (ou famille) radioactive 10

1.4.4 Équilibre radioactif 10

1.4.5 Types de rayonnement 10

1.5 Unités de radioprotection fondamentales 10

1.6 Résumé de la dose du fond de rayonnement 12

2 LES NORMES SUR LES MRN — FONDEMENTS ET CRITÈRES 14

2.1 Uniformité de la protection 14

2.2 Fondement des *Lignes directrices* 14

2.3 L'acceptabilité des risques professionnels dans l'industrie 14

2.4 Limites de dose de rayonnement recommandées 14

2.4.1 Dose incrémentielle 15

2.4.2 Dose efficace 15

2.4.3 Contrainte de dose 15

3 ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE GESTION DES MRN 17

3.1 Classifications du programme des MRN 17

3.2 Classification/seuils des MRN 17

3.2.1 Seuil d'enquête 17

3.2.2 Seuil de gestion des MRN 17

3.2.3 Seuil de gestion des doses 17

3.2.4 Seuil de gestion de radioprotection 17

3.3 Présentation d'un programme des MRN 17

3.3.1 Examen initial 19

3.3.2 Évaluation des doses de rayonnement 19

3.3.3 Évaluation et classification du programme 19

3.3.4 ALARA 20

4 LIMITES PRATIQUES DÉRIVÉES (LPD) POUR LES MRN 21

4.1 Débit de dose de rayonnement gamma 21

4.1.1 Seuil d'enquête 21

4.1.2 Seuil de gestion de dose 21

4.1.3 Seuil de radioprotection 21

4.2 Concentration du radon 21

4.2.1 Introduction 21

4.2.2 Limite pratique dérivée d'enquête pour le radon 22

4.2.3 Gestion des MRN pour le radon 22

4.2.4 Gestion de la radioprotection pour le radon 22

4.3 Limite annuelle d'incorporation (LAI) 22

4.3.1 LAI professionnelle 22

4.3.2 LAI du public 23

4.3.3 Mesures de contrôle de l'inhalation 24

5 GESTION DES MRN 25
5.1 Dangers non radioactifs des MRN 25
5.2 Limites de rejet dérivées des MRN 25
5.2.1 Classification non limitée 25
5.2.2 Rejet conditionnel 25
5.3 Limites de rejet dérivées pour les MRN ... 25
5.3.1 MRN diffuses 25
5.3.2 MRN discrètes 27
5.3.3 Contamination de surface 28

6 NORMES POUR LE TRANSPORT DES MRN 29
6.1 Expéditions de MRN non limitées 29
6.2 Expéditions de MRN qui font l'objet des *Lignes directrices canadiennes* 29
6.3 Expéditions de MRN régies par les règlements de transport fédéraux 29
6.4 Exclusions de contamination de surface de MRN 30
6.5 Information supplémentaire 30

RÉFÉRENCES 30

ANNEXE
A Liste d'adresses des publications 31
B Adresses gouvernementales 32
C Facteurs de conversion des unités de rayonnement 34
D Calculs de dose efficace 35
E Dérivation des limites de rejet dérivées inconditionnelles de MRN diffuses 38
F Éléments d'un programme de radioprotection officiel 42
G Glossaire des rayonnements 45

Figure 1.1
Symbole chimiques et caractéristiques importantes des familles radioactives ^{238}U et ^{232}Th et du ^{40}K 11

Figure 1.2
Dose de rayonnement ionisant annuelle moyenne aux Canadiens 13

Tableau 2.1
Limites de dose de rayonnement 15

Figure 3.1
Organigramme de classification MRN 18

Figure 4.1
Classifications du programme du radon ... 23

Tableau 4.1
Limites annuelles d'incorporation pour les travailleurs exposés professionnellement 24

Tableau 5.1
Limites de rejet dérivées inconditionnelles – Sources de MRN diffuses 26

Tableau 5.2
Limites de rejet dérivées inconditionnelles – Sources de MRN discrètes 27

Tableau 5.3
Limites de rejet dérivées inconditionnelles de contamination de surface – Sources de MRN discrètes 28

PRÉFACE

Le Groupe de travail sur les MRN, un groupe de travail du Comité de radioprotection fédéral-provincial-territorial, représente les intérêts des organismes de réglementation provinciaux et territoriaux et comprend les industries touchées dans les secteurs de la production de pétrole, de la fabrication d'engrais et le secteur industriel de recyclage des métaux. Les présentes *Lignes directrices* sont le fruit des efforts du Groupe qui a bénéficié de l'appui et de l'encouragement de Santé Canada et de la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Veuillez envoyer vos suggestions et commentaires relatifs aux *Lignes directrices* au :

Secrétariat, Comité de radioprotection
fédéral-provincial-territorial
Bureau de la radioprotection
Santé Canada, LP 6302D
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ontario) K1A 1C1

Les membres du Groupe de travail sur les MRN étaient :

M. Dennis Novitsky, consultant
d. r. Novitsky Enterprises
Calgary (Alberta)

M. Keith Davies, radiophysicien
Fredericton (Nouveau-Brunswick)

M. Randy Harper, Harper Metals
Association canadienne des industries du recyclage
Red Deer (Alberta)

M. Gary Hughes, Radiation Health and Safety
Responsable des contrats
Workplace Health and Safety
Alberta Human Resources and Employment
Edmonton (Alberta)

M. Richard McGregor, chef
Section radioactivité naturelle
Bureau de la radioprotection, Santé Canada
Ottawa (Ontario)

M. Arthur Scott, agent de radioprotection
Service de radioprotection
Ministère du travail de l'Ontario
Weston (Ontario)

M. Roger Stacy, hygiéniste du travail
Environment, Health and Safety, Agrium
Redwater (Alberta)

M. Wayne Tiefenbach, gestionnaire – Radiation Safety
Saskatchewan Labour
Regina (Saskatchewan)

M. Pat Wall, Senior Radiation Health Officer
Nova Scotia Department of the Environment
Halifax (Nouvelle-Écosse)

M. Webster, gestionnaire – Environmental and Health
Association canadienne des producteurs pétroliers
Calgary (Alberta)

ABRÉVIATIONS UTILISÉES DANS LES *LIGNES DIRECTRICES*

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ALARA	Acronyme de l'expression anglaise « As Low As Reasonably Achievable » (le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre), compte tenu des facteurs économiques et sociaux. ALARA est un principe directeur en radioprotection et encourage les gestionnaires à réduire le plus possible les niveaux de doses même s'ils respectent déjà les niveaux admissibles.
BEIR	(Comité des sciences de l'Académie nationale des États-Unis sur les) effets biologiques des rayonnements ionisants.
CCSN	La Commission canadienne de sûreté nucléaire est l'organisme fédéral qui autorise et réglemente les installations et matières nucléaires. La CCSN est le successeur de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA).
CD	Coefficient de dose
CIPR	Commission internationale de protection radiologique.
FDN	Fichier dosimétrique national
LAI	Limite annuelle d'incorporation
LPD	Limite pratique dérivée
MRN	Matière radioactive naturelle
MRNAT	Matière radioactive naturelle améliorée technologiquement
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements (États-Unis)
OCS	Objet contaminé en surface
TMD	Transport des marchandises dangereuses. Division du ministère fédéral des transports
UNSCEAR	Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des rayonnements ionisants

INTRODUCTION

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), ex-Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA), réglemente les matières du cycle du combustible nucléaire et les radionucléides artificiels. Toutefois, les matières radioactives naturelles (MRN) ne relèvent pas de la compétence de la CCSN à l'exception de l'importation, de l'exportation et du transport de ces matières. Par conséquent, l'utilisation et l'exposition au rayonnement des MRN relève de la compétence de chaque province et territoire canadiens.

Les sociétés qui éprouvent des difficultés relativement aux matières radioactives naturelles (MRN) ont pris l'habitude de demander l'avis des organismes de réglementation provinciaux et territoriaux sur les procédures de sûreté. Ces conseils ont été donnés de façon *ad hoc*, entraînant une certaine incohérence dans l'interprétation et l'application des normes de protection contre les rayonnements dans tout le Canada.

Le Comité de radioprotection fédéral-provincial-territorial (CRFPT), un comité intergouvernemental canadien établi pour aider les organismes de radioprotection fédéraux, provinciaux et territoriaux à remplir leur mandat respectif, reconnaît que les dangers potentiels des rayonnements provenant des MRN sont les mêmes que ceux des matières radioactives régies par la CCSN. Le principe fondamental des présentes *Lignes directrices* est que, quand les travailleurs ou le public sont exposés à des sources ou des modes supplémentaires de rayonnement en raison des activités mettant en œuvre les MRN, on devrait appliquer les mêmes normes de radioprotection que dans le cas des activités réglementées par la CCSN. Cela s'applique aux situations dans lesquelles la MRN se trouve dans son état naturel et dans les cas où la concentration de la MRN a été augmentée par traitement.

Toutefois, en pratique, il peut également y avoir des situations dans lesquelles le fond naturel de rayonnement est important en dehors des activités mettant en œuvre des MRN. La question de savoir si l'intervention humaine est nécessaire pour réduire une telle intensité de rayonnement naturel est tout à fait distincte des sujets abordés dans les présentes *Lignes directrices* et le lecteur doit se reporter au document CIPR 65 qui indique quand une telle intervention pourrait être justifiée.

À cette fin, le Groupe de travail canadien sur les MRN a publié, pour le compte du Comité de radioprotection fédéral-provincial-territorial les *Lignes directrices canadiennes* pour la gestion des matières radioactives naturelles (MRN). Les *Lignes directrices* sont un prolongement des travaux effectués par le Western Canadian Committee on Natural Occurring Radioactive Materials (NORM) publié au mois d'août 1995 sous le nom de *Guidelines for the Handling of Natural Occurring Radioactive Materials (NORM) in Western Canada*[1]. Les différences entre les deux documents reflètent des changements dans les pratiques de radioprotection et les normes d'application générales nationales et internationales pour la classification et la gestion des MRN depuis 1995.

Les *Lignes directrices canadiennes* énoncent les principes et les méthodes relatives à la détection, à la classification, à la manutention et à la gestion des MRN au Canada, et donnent également des directives en ce qui a trait à la conformité aux règlements fédéraux sur le transport. Les présentes *Lignes directrices* servent de cadre pour l'élaboration de pratiques et directives de gestion des MRN plus détaillées par les autorités de réglementation, les industries touchées et les lieux de travail particuliers. Une section distincte donne les grandes lignes de la science fondamentale de la radioactivité et explique les termes et concepts techniques qui sont utilisés tout au long des *Lignes directrices*. On trouvera également à la fin du document un glossaire des termes techniques facile à consulter.

1 LES MRN, UN PROBLÈME DE RADIOACTIVITÉ

1.1 Définition

MRN est l'acronyme de *matières radioactives naturelles*, qui englobe les éléments radioactifs que l'on trouve dans l'environnement. Les éléments radioactifs à longue période essentiels comprennent l'uranium, le thorium et le potassium ainsi que leurs produits de désintégration radioactive (ou produits de filiation) comme le radium et le radon. Ces éléments ont toujours été présents dans la croûte terrestre et dans les tissus de tous les êtres vivants.

Bien que la concentration de MRN dans la plupart des substances naturelles soit faible, des concentrations supérieures peuvent survenir en raison des activités humaines. Par exemple, les dépôts de calcium précipités de la saumure d'extraction du pétrole peut contenir du radium à de bien plus fortes concentrations que la source d'eau elle-même. Le traitement des matières premières par de nombreuses industries axées sur les ressources peut augmenter la concentration de substances radioactives dans ces matières, à des niveaux qui nécessitent des précautions spéciales pour la manutention, le stockage, le transport et l'évacuation de matières, de sous-produits et de produits terminaux ou de l'équipement de procédé.

1.2 Objet des Lignes directrices canadiennes sur les MRN

Du fait que les MRN ne font pas partie du cycle du combustible nucléaire, elles ne sont pas régies par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), qui autorise et contrôle les matières radioactives associées au cycle du combustible nucléaire ainsi que les radionucléides produits artificiellement. Par conséquent, les activités associées aux MRN relèvent de la compétence des provinces et des territoires. Cela a donné lieu à une application incohérente des normes de radioprotection, de nombreux organismes participant quand les matières traversent les frontiers juridiques. Par exemple, le transport d'une MRN en vue de son élimination est du ressort :

- des organismes de réglementation de la santé, du travail et des rayonnements provinciaux et territoriaux pour l'exposition des travailleurs et du public;
- des organismes de réglementation environnementale provinciaux en ce qui a trait aux options d'évacuation;
- de la Commission canadienne de sûreté nucléaire pour le transport des matières radioactives.

Nota : Dans sa loi, la CCSN utilise l'expression substances nucléaires naturelles plutôt que matières radioactives naturelles.

Par conséquent, les Lignes directrices ont été élaborées pour :

- assurer un contrôle adéquat des MRN retrouvées par les industries touchées;
- harmoniser les normes;
- combler les lacunes ou réduire le chevauchement des compétences.

Le principe fondamental des *Lignes directrices* est que les personnes exposées au MRN doivent être soumises aux mêmes normes de radioexposition qui s'appliquent aux personnes exposées aux matières radioactives réglementées par la CCSN. On ne fait aucune distinction quant à l'origine du rayonnement, qu'il s'agisse des MRN dans leur état naturel ou dont la concentration a été augmentée par traitement (MRN améliorée technologiquement ou MRNAT). Toutefois, du fait que les MRN sont très répandues, dans le cas où le rayonnement naturel est important, on doit prendre en compte le coût de toute intervention.

Un principe important dans le contrôle des doses de rayonnement est que si l'on peut réduire ces doses par

des mesures raisonnables, on doit alors prendre ces mesures. Du fait que même les faibles doses de radioexposition peuvent produire des effets nocifs, il peut être bénéfique des réduire ces faibles doses. L'objectif est que ces doses se situent au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux. C'est le principe ALARA.

1.3 Industries touchées par le rayonnement des MRN

Dans certaines industries, les MRN peuvent être présentes en quantités suffisantes pour transmettre des doses de rayonnement importantes aux travailleurs. Elles nécessitent alors l'application de pratiques de radioprotection pour les réduire. Ces industries comprennent les domaines suivants :

Extraction et traitement des minerais : les MRN peuvent être libérées ou concentrées dans un cycle de procédé lors du traitement du minerai, comme c'est le cas dans l'industrie des engrais phosphatés et dans les industries des abrasifs et des matières réfractaires.

Production de pétrole et de gaz : on peut trouver des MRN dans les liquides et gaz provenant des formations géologiques contenant des hydrocarbures.

Recyclage des métaux : les matières contaminées par des MRN peuvent être redistribuées à d'autres industries entraînant la formation de nouveaux produits contaminés par des MRN.

Produits forestiers et production d'énergie thermique : les cendres minérales laissées par la combustion peuvent concentrer de petites quantités de MRN présentes naturellement dans les végétaux et le charbon.

Installations de traitement d'eau : l'eau douce ou usée est traitée dans des sorbants ou des résines échangeuses d'ions pour éliminer les minéraux et autres impuretés de l'eau traitée et peuvent émettre du radon (sources géothermiques et écloseries).

Creusement de tunnels et travaux souterrains : dans les secteurs où de petites quantités de minéraux ou de gaz radioactifs indigènes peuvent être présents, comme dans les cavernes souterraines, les chambres électriques, les tunnels ou les réseaux d'égouts.

1.4 Description et sources de MRN

1.4.1 Fond de rayonnement

La vie sur terre a toujours été exposée au rayonnement naturel de l'environnement, que l'on appelle également fond de rayonnement. Les sources principales de ce rayonnement sont le rayonnement cosmique du soleil et de l'espace ainsi que le rayonnement terrestre des éléments radioactifs dans la croûte terrestre. Un exemple courant de source de rayonnement terrestre est le radon, gaz qui provient de l'uranium dans le sol et peut s'accumuler dans les bâtiments.

1.4.2 Radionucléides et rayonnement ionisant

Les éléments chimiques sont caractérisés par le nombre de protons qui se trouvent dans le noyau de leurs atomes. Les atomes contiennent également d'autres « particules subatomiques » comme les neutrons et les électrons. Le nombre de protons dans les atomes d'un élément donné est constant, mais le nombre de neutrons peut être différent. Les atomes d'un élément qui ont des nombres différents de neutrons sont appelés les isotopes de cet élément, bien qu'ils se comportent tous chimiquement de la même manière. Les isotopes d'un élément portent le nom de l'élément suivi du nombre de nucléons de l'isotope (protons + neutrons). L'uranium, par exemple, a toujours 92 protons, mais il a un nombre d'isotopes donné par le nombre de leurs nucléons, comme l'uranium 235 et l'uranium 238.

Les isotopes les plus courants des éléments sont stables, c'est-à-dire que l'équilibre protons-neutrons dans le noyau de leurs atomes ne changent jamais. Toutefois, dans les isotopes de certains éléments, l'équilibre protons-neutrons dans l'atome rend l'atome instable, et il éjecte ainsi une ou plusieurs particules ainsi que de l'énergie excédentaire du noyau pour se stabiliser davantage. Ce processus s'appelle la désintégration nucléaire. Les particules ou rayons à haute énergie sont appelés « rayonnement ionisant » parce qu'ils

ionisent ou modifient la structure physique et chimique d'autres atomes de la matière qu'ils traversent. Les éléments qui émettent un rayonnement ionisant sont appelés radioactifs. Dans certains cas, un ou plusieurs isotopes d'un élément sont radioactifs et on les appelle radio-isotopes ou radionucléides.

1.4.3 Période radioactive et série de désintégration (ou famille) radioactive

On peut reconnaître un radionucléide par les caractéristiques du rayonnement qu'il émet. Ces caractéristiques comprennent le taux de désintégration, ou période radioactive du radionucléide et le type et l'énergie du rayonnement émis.

Le débit auquel les particules sont émises s'exprime par la période du radionucléide. La période est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes d'une substance se désintègre pour prendre une forme plus stable ou pour réduire la radioactivité de moitié. La période peut aller d'une fraction de seconde à des milliards d'années. Quand un radionucléide se désintègre, il devient un isotope d'un autre élément. Si ce nouvel isotope est également radioactif il se désintègre davantage. Ainsi se crée une « famille radioactive ». Les deux familles radioactives MRN les plus courantes sont les familles d'uranium 238 et de thorium 232. La figure 1.1 donne les caractéristiques des radio-isotopes associés à la famille radioactive de l'uranium et du thorium ainsi que celles du potassium. Elle donne également le symbole chimique pour chaque élément et isotope.

1.4.4 Équilibre radioactif

Le dernier membre d'une famille radioactive est stable. Le premier membre (le « père radionucléide ») a presque toujours une très longue période. Quand tous les membres d'une famille radioactive (le père radionucléide et ses « descendants ») sont « en équilibre » ils se désintègrent tous au même débit, le débit auquel chacun à son tour est produit, et chaque élément radioactif ou descendant radioactif dans la famille a la même quantité de radioactivité. Si une telle matière radioactive subit un traitement chimique ou est perturbée d'une autre façon, l'équilibre est rompu.

1.4.5 Types de rayonnement

Les MRN peuvent émettre trois types fondamentaux de rayonnement :

- Le rayonnement **alpha** (α) est composé de particules chargées lourdes qui ne peuvent pas pénétrer très loin même dans l'air. On peut arrêter ces particules avec une feuille de papier.
- Le rayonnement **bêta** (β) est composé de particules chargées plus légères que les particules alpha. Ce rayonnement se déplace plus rapidement et est donc plus pénétrant que le rayonnement alpha. On peut arrêter le rayonnement bêta avec quelques centimètres de contreplaqué.
- Le rayonnement **gamma** (γ) est composé de rayons à énergie élevée et est très pénétrant. On peut l'arrêter avec un mètre de béton ou plusieurs mètres d'eau.

1.5 Unités de radioprotection fondamentales

Il y a deux unités fondamentales :

Becquerel (= activité). Le becquerel (Bq) mesure la quantité de radioactivité présente sans tenir compte du type de rayonnement émis. 1 Bq = 1 transformation (désintégration) nucléaire par seconde.

Sievert : dose efficace (= effet biologique). Différents types de rayonnement ont un pouvoir de pénétration différent, et différentes parties de l'organismes ont des sensibilités différentes au rayonnement. Par conséquent l'évaluation de dose nécessite une connaissance du type et de la quantité de rayonnement et de la sensibilité biologique de la partie de l'organisme exposée.

Le sievert (Sv) est l'unité de dose efficace de rayonnement et tient compte de l'effet total de différents types de rayonnement sur différentes parties de l'organisme. La plupart des doses professionnelles se calculent en millisieverts ou mSv. Les réglementations expriment la dose sur une base annuelle, soit en millisieverts par an ou mSv/a.

Figure 1.1
Symboles chimiques et caractéristiques importantes des familles radioactives ^{238}U et ^{232}Th et du ^{40}K

FAMILLE DE L'URANIUM 238				FAMILLE THORIUM 232			
Nucléide de MRN	**Symbole**	**Période**	**Émissions principales**	**Nucléide de MRN**	**Symbole**	**Période**	**Émissions principales**
Uranium 238	^{238}U	$4,5 \times 10^{9}$ a	α	Thorium 232	^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ a	α
Thorium 234	^{234}Th	24,0 j	β, γ	Radium 228	^{228}Ra	5,7 a	β
Protactinium 234m	^{234m}Pa	1,2 min	β, γ	Actinium 228	^{228}Ac	6,1 h	β, γ
Uranium 234	^{234}U	$2,5 \times 10^{5}$ a	α, γ	Thorium 228	^{228}Th	1,9 a	α, γ
Thorium 230	^{230}Th	$7,7 \times 10^{4}$ a	α, γ	Radium 224	^{224}Ra	3,7 j	α, γ
Radium 226	^{226}Ra	$1,6 \times 10^{3}$ a	α, γ	Radon 220	^{220}Rn	55,6 s	α
Radon 222	^{222}Rn	3,83 j	α	Polonium 216	^{216}Po	0,15 s	α
Polonium 218	^{218}Po	3,1 min	α	Plomb 212	^{212}Pb	10,6 h	β, γ
Plomb 214	^{214}Pb	27 min	β, γ	Bismuth 212	^{212}Bi	61 min	α, β, γ
Bismuth 214	^{214}Bi	20 min	β, γ	Polonium 212 (65 %)	^{212}Po	3×10^{-7} s	α
Polonium 214	^{214}Po	$1,6 \times 10^{-4}$ s	α, γ	Thallium 208 (35 %)	^{208}Tl	3,1 min	β, γ
Plomb 210	^{210}Pb	22,3 a	β, γ	**Plomb 208**	**^{208}Pb**	**stable**	**aucune**
Bismuth 210	^{210}Bi	5,01 j	β				
Polonium 210	^{210}Po	138 j	α	**POTASSIUM 40**			
Plomb 206	**^{206}Pb**	**stable**	**aucune**	Potassium 40	40K	$1,3 \times 10^{9}$ a	β, γ

Légende :

Exemple : **bismuth 212** **^{212}Bi** **61 m** α, β, γ

212 : Nombre de masse du bismuth 212

Bi : Symbole chimique du bismuth

61 m : Période radioactive de 61 minutes
(a = ans; j = jours; h = heures;
min = minutes; s = secondes)

α : désintégration alpha (émission)
β : désintégration bêta (émission)
γ : gamma (émission)

Une personne peut recevoir une irradiation « interne » d'une substance radioactive, en inhalant un gaz ou des particules en suspension dans l'air radioactifs ou en ingérant de la poussière radioactive. La matière peut demeurer dans l'organisme pour un certain temps après l'incorporation, et donne une dose. La dose sur toute la vie que l'on peut recevoir d'une irradiation interne est la « dose engagée » que l'on exprime également en sieverts.

1.6 Résumé de la dose du fond de rayonnement

La figure 1.2 est un diagramme à secteurs montrant la taille en pourcentage de chaque composant de la dose du fond de rayonnement reçue par le Canadien moyen[2]. On peut classer les sources de rayonnement naturel en trois groupes : la dose qui provient du rayonnement cosmique direct et qui arrive à la surface de la terre en provenance du soleil et de l'espace; la dose du rayonnement ambiant qui provient de la radioactivité naturelle à la surface de la terre et l'irradiation interne.

Le rayonnement cosmique varie avec l'élévation au-dessus du niveau de la mer mais ne représente qu'environ 0,3 mSv/a sur la majeure partie du Canada.

La plage des débits de dose gamma provenant des matières radioactives naturelles dans la famille de l'uranium et du thorium ainsi que du potassium 40 présent dans le sol type est :

0,045 - 0,09 mSv/a pour la famille de l'uranium 238;
0,09 - 0,15 mSv/a pour la famille du thorium 232;
0,09 - 0,15 mSv/a provenant du potassium 40.

Le débit de dose type provenant des deux familles et du potassium 40 est de 0,35 mSv/a.

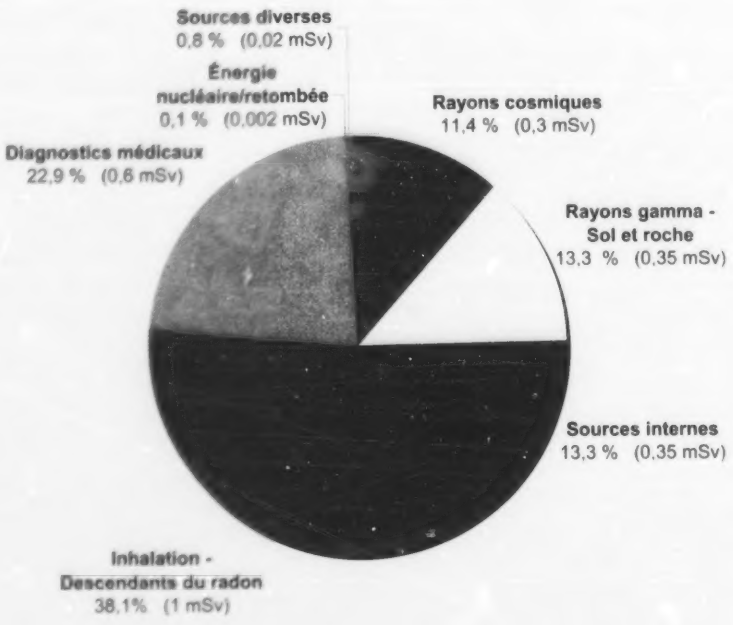
Une dose interne moyenne d'environ 1,0 mSv est due à l'inhalation des descendants du radon, mais la dose varie considérablement en fonction de la composition géologique du milieu. Par exemple, la dose moyenne provenant des descendants du radon à Vancouver est de 0,2 mSv/a, mais à Winnipeg, elle est de 2,2 mSv/a.

Une autre source d'irradiation interne provient d'un isotope radioactif du potassium : le tissu musculaire contient du potassium, dont 0,0118 p. 100 est du potassium 40, un émetteur naturel de rayons gamma et bêta dont l'apport est d'environ 0,35 par an.

Au total, un Canadien peut recevoir une plage de doses annuelles provenant du fond de rayonnement de 1,2 mSv/a à 3,2 mSv/a selon l'emplacement géographique. Le Canadien moyen reçoit une dose annuelle type d'environ 2 mSv du fond de rayonnement.

Manifestement, du fait que l'on ne peut pas empêcher les doses de rayonnement provenant des MRN, la question est la suivante : **À quelle dose incrémentielle devrions-nous commencer à appliquer les pratiques de radioprotection aux MRN?** Les *Lignes directrices* ont été élaborées pour aider à répondre à cette question.

Figure 1.2
Dose de rayonnement ionisant annuelle moyenne aux Canadiens
(Dose totale moyenne de 2,62 mSv par an)



Source : Canada; Vivre avec le rayonnement, CCEA, 1995.

2 LES NORMES SUR LES MRN — FONDEMENTS ET CRITÈRES

2.1 Uniformité de la protection

Le principe fondamental de ces lignes directrices est que les mêmes critères de radioexposition devraient être appliqués dans le cas où les travailleurs ou le public sont exposés à de nouvelles sources ou modes de rayonnement provenant d'activités dans lesquelles des MRN sont présents, ainsi que dans le cas d'une radioexposition due aux activités réglementées par la CCSN. Cela s'applique quand les MRN se trouvent dans leur état naturel et quand leur concentration a été augmentée par un traitement.

2.2 Fondement des *Lignes directrices*

Les *Lignes directrices* sont fondées sur les normes internationales les plus récentes recommandées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et les règlements de la CCSN. Les recommandations de la CIPR représentent le consensus international sur les normes de radioprotection et forment les fondements du contrôle réglementaire des matières radioactives dans pratiquement tous les pays du monde. Comme ces règlements et normes font l'objet d'amendements périodiques, les *Lignes directrices* peuvent également être mises à jour pour tenir compte des changements apportés aux pratiques de radioprotection nationales et internationales acceptées. La philosophie de radioprotection de la CIPR et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) ainsi que les recommandations importantes pour les MRN au Canada sont contenues dans les rapports de la CIPR 60[3], 65[4], 68[5], 72[6] et 77[7] et la Collection Sécurité 115[8] de l'AIEA.

2.3 L'acceptabilité des risques professionnels dans l'industrie

La CIPR examine les estimations des risques dus au rayonnement provenant de toute source disponible, et particulièrement les travaux du Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) et du *United States National Academy of Science Committee* sur les effets biologiques des rayonnements ionisants (BEIR). Les rapports de la CIPR vont plus loin que ceux de ces organismes, du fait que la CIPR recommande des doses admissibles pour les travailleurs tandis que les autres organismes estiment simplement les risques associés à la radioexposition.

La CIPR estime que toute exposition au rayonnement ionisant peut être néfaste à la santé et préconise trois principes fondamentaux pour la gestion des radioexpositions :

- **JUSTIFICATION** — Aucune activité mettant en présence le rayonnement ionisant à n'importe quelle fin ne peut être justifiée à moins qu'il ne soit possible de démontrer qu'elle apportera un avantage positifs net.
- **OPTIMISATION** — Toute exposition doit être maintenue au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux (le principe ALARA).
- **LIMITATION** — La radioexposition professionnelle maximale acceptable pour toute personne ne doit pas comporter de risque dû au rayonnement supérieur au risque qui survient au cours du travail dans ce qui est considéré généralement comme une industrie « sûre ».

La CIPR reconnaît que tout le monde est soumis à une radioexposition du fond de rayonnement importante. Toutefois, même des doses inférieures au fond de rayonnement attribuables aux pratiques professionnelles sont injustifiables s'il n'y a pas d'avantages associés ou si l'on peut les éviter facilement.

2.4 Limites de dose de rayonnement recommandées

Le Comité de radioprotection fédéral-provincial-territorial recommande que la dose efficace incrémentielle annuelle aux personnes exposées aux

MRN résultant d'une pratique de travail soit limitée aux valeurs données au tableau 2.1.

Ces limites de dose sont le fondement pour toutes les autres recommandations relatives au programme de radioprotection contenu dans les *Lignes directrices*, elles sont harmonisées avec les limites de dose de rayonnement recommandées par la Commission canadienne de sûreté nucléaire pour le cycle du combustible nucléaire, et elles incorporent les recommandations de la publication 60[3] de la CIPR.

2.4.1 Dose incrémentielle

Dans le présent document, les limites de dose sont exprimées en dose incrémentielle, soit la dose qui résulte de la pratique de travail en question. Le fond naturel de rayonnement, comprenant le radon, est exclu des limites de dose. La dose de rayonnement attribuable à des actes médicaux est également exclue des limitations des doses.

2.4.2 Dose efficace

La CIPR définit la dose efficace comme la somme de toutes les doses équivalentes au tissu multipliée par les facteurs de pondération du tissu appropriés associés à chaque tissu respectif. La dose efficace accumulée sur une période donnée comprend :

a. la dose efficace provenant de sources extérieures, et
b. la dose efficace engagée provenant de l'incorporation de radionucléides dans cette période.

Les travailleurs exposés professionnellement sont des employés exposés aux sources de rayonnement de MRN résultant de leurs travaux courants. Ils sont classés comme des travailleurs MRN travaillant dans un milieu d'exposition professionnelle et leur dose efficace annuelle moyenne ne doit pas dépasser 20 mSv (voir tableau 2.1 note c pour les exceptions).

Les travailleurs exposés occasionnellement sont des employés dont les tâches normales ne comprennent pas l'exposition à des sources de rayonnement de MRN. Ils sont considérés comme des membres du public qui travaillent dans un milieu d'exposition professionnelle et la limite de dose efficace annuelle pour ces travailleurs est de 1 mSv.

Tableau 2.1
Limites de dose de rayonnement

Groupe touché	Limite de dose efficace annuelle (mSv)[a]	Limite de dose cumulée sur cinq ans (mSv)
Travailleurs exposés professionnellement[b]	20[c]	100
Travailleurs exposés occasionnellement et membres du public	1	5

Notes :

(a) Ces limites ne comprennent pas le fond naturel de rayonnement et les radioexpositions médicales. Voir l'annexe D pour le calcul de la limite de dose.

(b) Pour ce qui est du temps qui reste avant l'accouchement, la dose efficace à une travailleuse exposée professionnellement doit être limitée à 4 mSv comme le stipule la « Réglementation de radioprotection », *Loi sur la sûreté nucléaire canadienne*. Cette limite peut être différente des limites de dose correspondantes spécifiées dans la loi provinciale actuelle applicable à l'exposition aux sources de rayons X.

(c) Dans le cas des travailleurs exposés professionnellement, une dose maximale de 50 mSv en un an est admise, à condition que la dose efficace totale de 100 mSv sur une période de cinq ans soit maintenue. Cela se traduit par une limite moyenne de 20 mSv/a.

2.4.3 Contrainte de dose

Une contrainte de dose est une valeur supérieure de la dose annuelle que les membres du public ou les travailleurs exposés occasionnellement devraient recevoir lors de travaux prévus ou d'une source unique. Afin de s'assurer que le public et les travailleurs exposés occasionnellement ne dépassent la limite de dose annuelle de 1 mSv, la CIPR[7] et l'AIEA[8] recommandent l'utilisation d'une contrainte de dose. La contrainte de dose tiendrait compte des expositions provenant d'autres sources sans que la limite annuelle ne soit dépassée. Si l'on découvre rétrospectivement qu'une contrainte de dose, par rapport à une limite de dose, a été dépassée cela ne sous-entend pas que les recommandations des *Lignes directrices* n'ont pas été respectées. Au contraire, cela devrait demander une réévaluation de l'efficacité du programme.

La CIPR[7] recommande que pour le contrôle de l'exposition du public, une valeur appropriée pour la contrainte de dose soit de 0,3 mSv par an. En accord avec cette recommandation, les *Lignes directrices canadiennes* pour les MRN ont adopté une valeur de 0,3 mSv/a comme son premier niveau d'enquête. Les tableaux 5.1 et 5.2 énumèrent les quantités de matières radioactives qui, si elles sont libérées dans l'environnement sans autre contrôle n'entraîneront pas des doses dépassant 0,3 mSv/a.

3 ÉLABORATION D'UN PROGRAMME DE GESTION DES MRN

3.1 Classifications du programme des MRN

Les classifications du programme des MRN résument les exigences relatives à leur gestion. La classification du lieu de travail est établie par la dose annuelle maximale reçue par les membres du public et les travailleurs sur les lieux de travail (figure 3.1). La classification d'une source de MRN individuelle est établie par la dose annuelle que peut recevoir un membre du public en raison d'une exposition à l'activité d'expédition ou d'évacuation.

On doit estimer la dose efficace aux travailleurs et au public résultant des voies d'exposition suivantes :

- exposition au rayonnement gamma extérieur;
- ingestion de matières contenant des MRN;
- inhalation de poussière contenant des MRN;
- inhalation de radon (gaz) et de ses produits de décroissance radioactive.

La dose individuelle la plus élevée détermine la classification de gestion des MRN. On peut trouver les informations relatives aux calculs de dose efficace à l'annexe D.

On recommande vivement qu'une personne connaissant bien la radioprotection effectue l'évaluation radiologique du lieu de travail. On peut obtenir une liste des consultants en radioprotection auprès des organismes gouvernementaux provinciaux ou territoriaux appropriés. On trouvera une liste des organismes gouvernementaux à l'annexe B.

3.2 Classification/seuils des MRN

3.2.1 Seuil d'enquête

Une dose incrémentielle de 0,3 mSv/a, la valeur de la contrainte de dose établie à la section 2.4.3 est adoptée comme seuil d'enquête des MRN. Si les doses aux travailleurs ou aux membres du public peuvent dépasser cette valeur, il faut effectuer une évaluation propre au lieux de travail.

3.2.2 Seuil de gestion des MRN

Une dose incrémentielle évaluée au public ou aux travailleurs supérieure à 0,3 mSv/a, la valeur de contrainte de dose établie à la section 2.4.3 et le seuil d'enquête, est adoptée comme seuil de gestion des MRN.

3.2.3 Seuil de gestion des doses

Une dose incrémentielle évaluée de 1 mSv/a à un travailleur est adoptée comme seuil de gestion des doses.

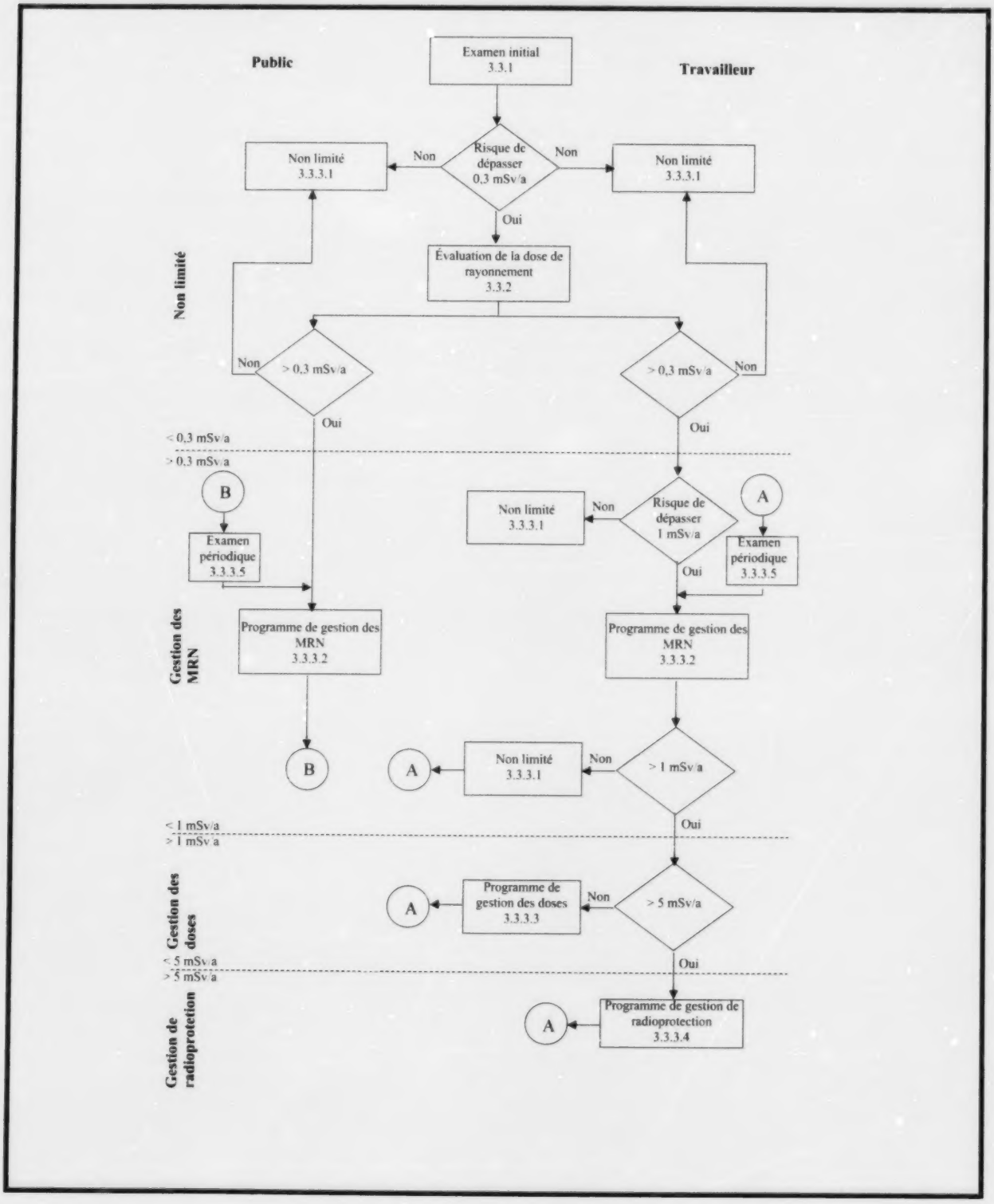
3.2.4 Seuil de gestion de radioprotection

Une dose incrémentielle aux travailleurs estimée ou mesurée de 5 mSv/a est adoptée comme seuil de gestion de radioprotection.

3.3 Présentation d'un programme des MRN

Les étapes pour déterminer le type de programme de gestion des MRN à un lieu de travail sont données ci-après. La figure 3.1 résume le processus dans un organigramme.

Figure 3.1
Organigramme de classification MRN



3.3.1 Examen initial

Si à un lieu de travail qui se classe parmi les industries sujettes à MRN données à la section 1.3 :

- on stocke, manutentionne ou se débarrasse de matières contenant des quantités de substances radioactives naturelles dépassant les quantités du tableau 5.1 dans le cas des MRN diffuses ou 5.2 dans les cas des MRN discrètes;
- et où l'on a suspecté des débits de dose efficace incrémentiels dépassant 0,3 mSv/a;

le seuil d'enquête des MRN peut être dépassé. On doit alors effectuer une évaluation de dose.

3.3.2 Évaluation des doses de rayonnement

On doit estimer les doses aux membres du public et aux travailleurs en effectuant un contrôle du rayonnement des lieux de travail. Le contrôle doit comporter des évaluations des débits de dose gamma et des substances radioactives en suspension dans l'air, selon les besoins.

Les travailleurs dont les doses estimées dépassent 1 mSv/a sont classés comme des travailleurs exposés professionnellement.

On doit estimer les doses aux membres du public dues au transport, au stockage et à l'évacuation des matières premières, des produits et des déchets. Une analyse radiochimique des matières premières, des produits et des déchets peut être nécessaire.

3.3.3 Évaluation et classification du programme

3.3.3.1 Classification non limitée

Si la dose efficace annuelle incrémentielle estimée au public est inférieure à 0,3 mSv/a et aux travailleurs inférieure à 1 mSv/a, la classification du programme des MRN est ***non limitée***. Aucune autre mesure n'est nécessaire pour contrôler les doses ou les matières.

3.3.3.2 Classification de gestion des MRN

Si la dose efficace annuelle incrémentielle estimée aux membres du public ou aux travailleurs exposés occasionnellement est supérieure au seuil d'enquête de 0,3 mSv/a, la classification MRN est ***gestion des MRN***.

L'accès du public devrait être restreint. Toutefois, l'accès des travailleurs serait non limité. Selon les circonstances et la source de la dose, le programme de gestion des MRN peut comprendre :

- l'application des restrictions d'accès aux travailleurs exposés occasionnellement;
- l'implantation de la gestion des expéditions et/ou des matières;
- des changements apportés aux pratiques de travail.

Si le lieu de travail, les matières premières et les déchets font l'objet de changements, ceux-ci doivent être examinés périodiquement pour vérifier que les conditions n'ont pas changé.

3.3.3.3 Gestion des doses

Si la dose efficace annuelle incrémentielle estimée à un travailleur exposé professionnellement est supérieure au seuil de gestion des doses de 1 mSv/a, la classification MRN est ***gestion des doses***.

Le programme doit comprendre :

- l'avis des sources de rayonnement aux travailleurs;
- la prise en compte des méthodes de travail et des vêtements de protection pour limiter la dose aux travailleurs provenant des MRN;
- l'application, le cas échéant, de mesures d'ingénierie (voir 4.3.3);
- la formation pour limiter et réduire la dose aux travailleurs;
- l'instauration d'un programme d'estimation des doses de rayonnement aux travailleurs; on peut estimer les doses à partir du débit de dose dans chaque aire de travail et du temps passé dans chaque aire ou par une surveillance personnelle;
- la déclaration des doses aux travailleurs au Fichier dosimétrique national (FDN) (voir l'adresse à l'annexe B).

Évaluer le lieu de travail périodiquement pour mesurer les changements des conditions et faciliter les calculs de dose aux travailleurs.

3.3.3.4 Gestion de la radioprotection

Dose efficace annuelle estimée

Si la dose efficace annuelle estimée à un travailleur exposé professionnellement est supérieure à 5 mSv/a, la classification MRN est ***gestion de la radioprotection***. En plus des exigences du programme de gestion des doses, les points suivants doivent être compris :

- Mettre en œuvre un programme de radioprotection officiel comme le décrit l'annexe G. Ce programme est semblable au programme officiel prescrit par la CCSN pour les travailleurs de l'énergie nucléaire dont la dose dépasse 5 mSv/a.
- Inscrire les travailleurs dont la dose est estimée à plus de 5 mSv/a à un programme de dosimétrie individuelle satisfaisant aux exigences du document S-106, Normes techniques et d'assurance de la qualité des services de dosimétrie au Canada[9].
- Fournir un équipement de protection, des vêtements et des méthodes de travail pour réduire la dose du travailleur et la propagation de la contamination.

Dose efficace annuelle mesurée

Si la dose efficace annuelle mesurée déclarée par le programme de dosimétrie individuelle est supérieure à 5 mSv/a, la classification MRN est ***gestion de la radioprotection***. Le programme doit comprendre les étapes supplémentaires suivantes :

- Utiliser des mesures d'ingénierie et fournir un équipement de protection conçu pour réduire, selon les besoins, la dose aux travailleurs.
- S'assurer que les travailleurs ne dépassent pas la limite de dose professionnelle moyenne de cinq ans de 20 mSv/a.

Évaluer le lieu de travail périodiquement pour mesurer les changements des conditions et pour faciliter les calculs de dose aux travailleurs.

3.3.3.5 Examen périodique

Chaque fois qu'une gestion de MRN, une gestion de dose ou un programme de gestion de radioprotection a été mis en œuvre, un examen périodique est nécessaire. L'examen doit déterminer si des changements ont été apportés au système qui peuvent influer sur la dose de rayonnement, surveiller l'efficacité du programme des MRN et déterminer si des modifications sont nécessaires. La fréquence de l'examen périodique dépend de la possibilité que les conditions changent et du programme des MRN.

3.3.4 ALARA

L'objectif est que les doses soient au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux. Entre le moment où une accumulation de MRN est prévue et la mise en œuvre d'un programme des MRN, le principe ALARA doit être le premier critère de prise de décision utilisé pour assurer une dose de rayonnement minimale au public et aux travailleurs.

4 LIMITES PRATIQUES DÉRIVÉES (LPD) POUR LES MRN

Les limites pratiques dérivées (LPD) ont été déterminées à partir des limites de dose de rayonnement annuelles pour aider à effectuer l'évaluation des doses. Les LPD fournissent une estimation des doses à partir des quantités qui peuvent être mesurées directement sur le lieu de travail. Un programme d'évaluation des rayonnements peut permettre de comparer les résultats des mesures aux limites pratiques dérivées (LPD).

4.1 Débit de dose de rayonnement gamma

4.1.1 Seuil d'enquête

Le débit de dose professionnel qui donne une dose de rayonnement gamma incrémentielle de 0,3 mSv/a est de 0,15 µSv/h. La LPD pour le seuil d'enquête gamma est un débit de dose incrémentiel supérieur au fond de rayonnement hors site de 0,15 µSv/h.

4.1.2 Seuil de gestion de dose

Le débit de dose professionnel qui donne une dose de rayonnement gamma incrémentielle de 1 mSv/a est de 0,5 µSv/h. La LPD pour le seuil de gestion de dose est un débit de dose incrémentiel de 0,5 µSv/h.

4.1.3 Seuil de radioprotection

Il n'y a pas de LPD pour le seuil de radioprotection gamma du fait que l'on prévoit que les doses soient dérivées par mesure ou estimation de dosimétrie.

4.2 Concentration du radon

4.2.1 Introduction

Le radon est un gaz radioactif produit par la désintégration des isotopes de radium dans la famille radioactive de l'uranium et du thorium (voir figure 1.1). Comme c'est un gaz, le radon peut être déplacé de sont point d'origine par une circulation d'air ou d'eau et libéré dans l'air du lieu de travail. En général, le radon 222 est le seul isotope présent en concentrations suffisamment élevées pour transmettre une dose importante, mais le radon 220 (thoron 220) peut être présent aux endroits où l'on manipule et stocke le thorium.

Bien que les fortes concentrations de radon attribuables à des causes naturelles soient communes dans les bâtiments, les présentes *Lignes directrices* ne portent pas sur la gestion du radon en dehors des milieux de travail. On trouvera des informations sur les lignes directrices d'exposition au radon dans les lieux publics et les habitations dans le document *Le radon : Guide à l'usage des propriétaires canadiens*[10] publié par la Société canadienne d'hypothèques et de logement et Santé Canada.

Le radon qui se dégage du sol sous un bâtiment crée une concentration naturelle intérieure moyenne d'environ 50 Bq/m^3, mais des valeurs bien supérieures sont possibles dans certains secteurs. Cette concentration est si variable avec le temps qu'il est peu probable que des mesures d'évaluation à court terme fassent une distinction convaincante entre le radon naturel et celui rejeté par une pratique industrielle. Lors des travaux d'excavation et de creusement de tunnels, du radon se dégage du sol, aussi il ne peut pas y avoir de distinction entre le radon naturel et celui qui a été introduit ou libéré par des activités industrielles (radon artificiel).

En conséquence, les recommandations pour le radon sont modifiées pour prendre en compte les contraintes pratiques. Du fait que l'on ne peut distinguer généralement le radon naturel du radon artificiel, les limites de dose données ici sont fondées sur la dose TOTALE d'exposition au radon, et non sur la dose INCRÉMENTIELLE de la pratique utilisée ailleurs dans les présentes *Lignes directrices*.

On peut estimer la dose provenant du radon soit à partir de la concentration du radon (gaz) (Bq/m^3) ou à partir de la concentration d'énergie des descendants (joules par mètre cube (J/m^3)). Au point de vue des coûts et du côté pratique, on recommande que la concentration de radon 222 soit la méthode de mesure retenue aux fins de dépistage dans le cas où les estimations de dose sont inférieures à 5 mSv/a. Le seul système de dosimétrie individuelle approuvé mesure la concentration des descendants (J/m^3), et par conséquent on doit évaluer les débits de dose supérieurs à 5 mSv/a sur cette base. On ne peut estimer la dose provenant du thoron qu'à partir de la concentration des descendants.

Les facteurs de conversion reliant la dose d'une exposition au radon provenant de la concentration de radon (gaz) et de la concentration d'énergie des descendants sont donnés à l'annexe C. Les hypothèses et incertitudes de ces facteurs de conversion sont décrites dans la publication 65[4] de la CIPR. D'autres relations entre les mesures du gaz et des descendants sont également données à l'annexe C.

4.2.2 Limite pratique dérivée d'enquête pour le radon

La concentration de radon professionnelle qui donne une dose de 0,3 mSv/a est d'environ 50 Bq/m^3, ce qui est comparable à la concentration naturelle du radon dans les bâtiments. Toutefois, comme la concentration de radon naturel peut varier considérablement, la limite pratique dérivée pour le radon est de 150 Bq/m^3. Par conséquent la classification non limitée s'applique à tous les cas où la concentration de radon moyenne est inférieure à 150 Bq/m^3. Si l'on prévoit que la concentration moyenne annuelle de radon (gaz) est supérieure à 150 Bq/m^3, on doit effectuer des mesures pour estimer cette concentration.

4.2.3 Gestion des MRN pour le radon

Si la concentration moyenne annuelle estimée de radon dans une zone occupée est supérieure à 150 Bq/m^3 mais inférieure à 800 Bq/m^3, la classification MRN est gestion des MRN. Selon la source de radon, l'application de l'ALARA peut comprendre :

- la mise en œuvre d'une gestion d'accès du public et des travailleurs exposés occasionnellement,
- des changements dans les pratiques de travail.

On doit vérifier périodiquement les lieux de travail pour vérifier que les conditions n'ont pas changé.

4.2.4 Gestion de la radioprotection pour le radon

La LPD pour le seuil de gestion de la radioprotection du radon 222 est une concentration de radon annuelle de 800 Bq/m^3. Si la concentration moyenne annuelle estimée de radon est supérieure à 800 Bq/m^3, la classification MRN est gestion de la radioprotection. On doit mettre en œuvre un programme de gestion de la radioprotection comme le décrit la section 3.3.3.4. Le programme devrait comprendre les étapes pour réduire les concentrations de radon au-dessous de 800 Bq/m^3.

4.3 Limite annuelle d'incorporation (LAI)

La limite annuelle d'incorporation est la quantité de matière radioactive qu'un travailleur peut ingérer ou inhaler chaque année et qui transmet une dose efficace annuelle de 20 mSv. Les valeurs de la LAI sont dérivées des valeurs du coefficient de dose (CD) établies par la CIPR. Elles sont fondées sur un examen critique de la recherche disponible sur l'estimation de la dose de rayonnement transmise à des organes et tissus particuliers attribuable à une incorporation d'une quantité donnée du radionucléide.

Les paramètres d'incorporation (débit respiratoire, grosseur des particules, etc.) sont différents pour les conditions d'exposition professionnelle ou du public et ainsi il y a des valeurs de CD différentes pour l'exposition professionnelle (CD_w) ou du public (CD_p).

4.3.1 LAI professionnelle

On doit prendre en compte deux groupes de travailleurs quand on attribue les LAI :

- **Les travailleurs exposés professionnellement** sont des employés qui sont exposés à des sources de rayonnement de MRN au cours de leurs travaux normaux. Ils sont classés comme des travailleurs MRN qui travaillent dans un milieu d'exposition professionnelle, et leur dose efficace annuelle moyenne ne doit pas dépasser 20 mSv.

Figure 4.1
Classifications du programme du radon[a]

DOSE ANNUELLE	CLASSIFICATION SELON LE PROGRAMME MRN
3 000 Bq/m³	(Limite de dose professionnelle de 20 mSv/a; cinq ans, moyenne)[b]
	GESTION DE LA RADIOPROTECTION
800 Bq/m³	(LPD de gestion de la radioprotection 5 mSv)[b]
	GESTION DES MRN
150 Bq/m³	(LPD d'enquête)[c]
	NON LIMITÉ
Fond naturel de rayonnement	

Notes :

(a) Le contrôle du radon 222 et de ses descendants dans la valeurs données à la figure 4.1 contrôlera parallèlement le radon 220 et ses descendants dans les limites applicables.

(b),(c) On suppose un facteur d'équilibre de 0,4 pour le radon 222 et ses descendants et une dose professionnelle de 2 000 heures par an. (Références 4).

- **Les travailleurs exposés occasionnellement** sont d'autres employés dont les tâches courantes ne comprennent pas une exposition aux sources de rayonnement de MRN. Ils sont considérés comme des membres du public qui travaillent dans un milieu d'exposition professionnelle et, en tant que tels, la limite de dose efficace annuelle pour ces travailleurs est de 1 mSv.

Le tableau 4.1 montre les valeurs du CD_w et de la LAI pour les travailleurs MRN exposés à des radionucléides MRN importants. Les valeurs du CD_w sont tirées de la publication 68[5] de la CIPR, et sont fondées sur une limite de dose efficace moyenne de 20 mSv par an.

Les valeurs appropriées des LAI pour les travailleurs exposés occasionnellement sont 1/20e des valeurs des LAI dont la liste figure au tableau 4.1.

4.3.2 LAI du public

Au lieu de spécifier les valeurs des LAI pour la dose au public, les *Lignes directrices* présentent des limites de rejet dérivées qui précisent la radioactivité totale maximale (Bq) des MRN et les valeurs de concentration des MRN (Bq/g; Bq/L; Bq/m³) pour les rejets inconditionnels dans le domaine public aux tableaux 5.1, 5.2 et 5.3. C'est une méthode plus pratique qui permet de donner des renseignements sur la gestion des MRN et elle est en accord avec d'autres normes associées de rejet dans l'environnement.

Ces limites de rejet sont fondées sur la dose provenant de toutes les voies de radioexposition dues au rejet et sont fondées sur une limite de dose annuelle maximale de 0,3 mSv comme le recommande le document CIPR 77[7].

4.3.3 Mesures de contrôle de l'inhalation

Dans certains milieux de travail MRN, la majeure partie de la dose peut être transmise par inhalation. Si les incorporations annuelles dépassent 1/20e des LAI, des mesures d'ingénierie contrôlant la source de matière radioactive en suspension dans l'air sont la méthode de gestion généralement retenue. Ces mesures comprennent l'extraction à la source pour empêcher que la matière ne s'échappe dans l'air et l'augmentation du débit de renouvellement d'air.

Si les incorporations dépassent 25 p. 100 de la LAI (équivalant à 5 mSv/a) une fois que les mesures d'ingénierie ont été mises en œuvre, un programme de protection respiratoire et/ou la limitation de l'accès des travailleurs doivent être considérés dans le cadre du programme de radioprotection. La protection respiratoire doit suivre les prescriptions des normes spécifiées pour d'autres poussières dangereuses dépendant de l'autorité locale.

Utilisation d'appareils respiratoires

On ne peut obtenir un coefficient de protection élevé que si l'on dispose d'un programme effectif de choix d'entretien et d'utilisation des appareils[11].

Tableau 4.1
Limites annuelles d'incorporation pour les travailleurs exposés professionnellement

Radionucléide MRN	Inhalation (DAMA 5 μm)[a]				Ingestion	
	Type[b]	CD_w (Sv/Bq)	LAI (Bq)[c]	f_1[d]	CD_w (Sv/Bq)	LAI (Bq)[c]
Plomb 210	R	1,1e-06	18 000	0,2	6,8e-07	29 000
Polonium 210	R	7,1e-07	28 000	0,1	2,4e-07	83 000
	M	2,2e-06	9 000			
Radium 226	M	2,2e-06[g]	9 000	0,2	2,8e-07	71 000
Radium 228	M	1,7e-06	12 000	0,2	6,7e-07	30 000
Thorium 228	M	2,3e-05	900	0,0005	7,0e-08	290 000
	L	3,2e-05	600	0,0002	3,5e-08	570 000
Thorium 232	M	2,9e-05	700	0,0005	2,2e-07	91 000
	L	1,2e-05	1 700	0,0002	9,2e-08	200 000
Uranium[e] (tous descendants)	Mélangé	7,1e-06	2 800	Composite	1,2e-07	170 000
Uranium (père) (^{238}U, ^{234}U)[f]	R	5,8e-07	34 000	0,02	4,4e-08	450 000
	M	1,6e-06	13 000	0,002	7,6e-09	2 600 000
	L	5,7e-06	3 500			

Notes :

(a) Diamètre aérodynamique médian en activité. Aérosol inhalé moyen de 5 microns (5 µm).

(b) La colonne « type » indique le débit relatif d'absorption de la matière déposée des voies respiratoires au courant sanguin, d'où la probabilité d'incorporation de la matière dans les systèmes biologiques. Les matières de types R, M et L ont respectivement des débits d'absorption rapides (R), moyens (M) et lents (L) dans le sang provenant des voies respiratoires.

(c) Les valeurs de LAI sont fondées uniquement sur les aspects radiologiques, l'incorporation de 1 LAI correspond à une dose efficace annuelle de 20 mSv. Dans le cas des travailleurs exposés occasionnellement, multiplier les valeurs de LAI par 1/20. Dans le cas de certains radionucléides MRN à longue période, la toxicité chimique peut être plus restrictive. La toxicité chimique et radiologique doit être examinée avant de fixer les limites d'exposition des lieux de travail.

(d) Fraction de l'incorporation initiale. Fraction absorbée par rapport à la quantité d'incorporation totale. Le reste passe par les voies gastro-intestinales et est excrété.

(e) Tiré de « Limites annuelles provisoires d'incorporation de poussière radioactive à longue période » Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCSN), janvier 1995.

(f) Nucléide d'uranium résiduel subsistant après la séparation chimique ou physique de ses descendants.

(g) Tiré de « Age Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Partie 5 – Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients », Publication CIPR 72, Annales de la CIPR, vol. 26, n°1, 1996.

5 GESTION DES MRN

5.1 Dangers non radioactifs des MRN

Les *Lignes directrices* donne des recommandations fondées sur les propriétés radiologiques des MRN. Quand on détermine une option de gestion acceptable des matières, on doit prendre en compte d'autres propriétés dangereuses comme la toxicité chimique. Dans de nombreux cas, les propriétés dangereuses non radiologiques des MRN sont les critères de choix essentiels pour l'option de gestion des MRN privilégiée.

5.2 Limites de rejet dérivées des MRN

Pour aider dans la gestion des MRN, on a déterminé des limites de rejet dérivées (LRD) à partir des limites de dose de rayonnement annuelles. Les LRD donnent une estimation de la dose au public provenant des rejets mesurés de MRN. Un programme d'évaluation des rayonnements ou de gestion des matières peut comparer les résultats de mesures aux limites de rejet dérivées (LRD).

5.2.1 Classification non limitée

Le contrôle de l'exposition du public au rayonnement provenant de l'évacuation des MRN est réduit à moins de la limite de dose du public pour prévoir des expositions de sources multiples. Les *Lignes directrices* recommandent que les MRN soient rejetées sans restriction radiologique quand la dose associée est d'au plus 0,3 mSv dans une année. Le danger radioactif associé à cette dose est considéré peu important et aucun autre contrôle n'est nécessaire sur la matière en ce qui a trait à la protection radiologique. Il peut être nécessaire de consulter les organismes de réglementation provinciaux d'évacuation des déchets et d'obtenir leur approbation relativement aux propriétés non radiologiques.

On a calculé les limites de rejet dérivées pour la quantité et la concentration des MRN qui répondent à ces critères et elles sont présentées aux tableaux 5.1, 5.2 et 5.3 en tant que limites de rejet dérivées inconditionnelles.

5.2.2 Rejet conditionnel

Les quantités de MRN dépassant les limites de rejet dérivées inconditionnelles peuvent, après un examen particulier des lieux être libérées sans autre égard. Dans ces cas, la prémisse fondamentale est que la matière, dans son état final, ne transmettra pas une dose supérieure à 0,3 mSv/a à une personne. En dehors de ces situations ou conditions, la matière fait partie d'une classification MRN plus restrictive.

5.3 Limites de rejet dérivées pour les MRN

5.3.1 MRN diffuses

Les MRN diffuses sont généralement volumineuses avec une concentration radioactive relativement faible qui est répartie uniformément dans la matière. Les sous-produits de MRN diffuses provenant d'une activité industrielle sont généralement stockés près du point de production du fait que le coût du transport sur de longues distances est prohibitif. Le phosphogypse, un sous produit de production d'engrais, est un exemple de MRN diffuse.

L'évacuation de sources de MRN diffuses demande que l'on prenne en considération les effets de la dilution, de la reconcentration éventuelle de la matière dans l'environnement, et la façon dont la matière peut transmettre des doses de rayonnement au public.

Le tableau 5.1 montre les limites de rejet dérivées inconditionnelles pour les MRN diffuses. Le rejet non limité de MRN aux concentrations données transmet une dose efficace maximale de 0,3 mSv/a selon des scénarios prudents. Les calculs sont donnés à l'annexe E. Les doses efficaces réelles provenant de rejets de MRN dans des limites de rejet dérivées inconditionnelles devraient être bien inférieures à 0,3 mSv/a.

Tableau 5.1
Limites de rejet dérivées inconditionnelles – Sources de MRN diffuses

RADIONUCLÉIDE MRN	Limite de rejet dérivée[a]		
	AQUEUX[b] (Bq/L)	SOLIDE (Bq/kg)	AIR (Bq/m³)
Famille uranium 238 (tous descendants)	1	300	0,003
Uranium 238 (^{238}U, ^{234}Th, ^{234m}Pa, ^{234}U)	10	10 000	0,05
Thorium 230	5	10 000	0,01
Radium 226 (en équilibre avec ses descendants)	5	300	0,05
Plomb 210 (en équilibre avec le bismuth 210 et le polonium 210)	1	300	0,05
Famille thorium 232 (tous descendants)	1	300	0,002
Thorium 232	1	10 000	0,006
Radium 228 (en équilibre avec ^{228}Ac)	5	300	0,005
Thorium 228 (en équilibre avec tous ses descendants)	1	300	0,003
Potassium 40	n.d.[d]	17 000[c]	n.d.

Notes :

(a) Voies envisagées :

Aqueuse	Terrestre	Air
1. Valeur 10X Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada.	1. Exposition externe du sol contaminé à une profondeur infinie. 2. Ingestion de terre/lég.//ingestion de terre. 3. Inhalation de matière remise en suspension.	1. Inhalation à la concentration se traduisant par 0,3 mSv. 2. Facteur d'exposition hypothétique de 25 %.

Hypothèses :
- Tous les radionucléides et milieux en équilibre.
- Valeurs types pour les facteurs d'ingestion et de transfert.
- Aucune tolérance pour le temps d'attente.
- Facteur d'« occupation » de 25 % dans le cas d'une source solide (exposition externe du sol, ingestion de terre, remise en suspension), facteur d'« occupation » de 25 % pour l'air et 50 % d'incorporation des légumes cultivés dans le sol.
- Pas de correction pour le blindage, rugosité de surface.

Quand plus d'un radionucléide à longue période est présent dans un échantillon, la somme appropriée des rapports d'activité de chaque radionucléide à longue période et sa limite de rejet correspondante ne doivent pas dépasser 1,

p. ex. : $\frac{\text{Concentration d'isotope MRN A}}{\text{Limite de rejet dérivée A}} + \frac{\text{Concentration d'isotope MRN B}}{\text{Limite de rejet dérivée B}} + \ldots + \frac{\text{Concentration d'isotope MRN N}}{\text{Limite de rejet dérivée N}} \leq 1$

(b) Limites de rejet aqueux ~10x Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. On suppose une dilution ultérieure du rejet. Voir la norme provinciale sur l'eau potable qui s'applique aux rejets planifiés de MRN diffuses. (Voir référence 16)

(c) Abondance naturelle de potassium 40 dans le chlorure de potassium .

(d) Aucune limite de rejet aqueux n'est nécessaire du fait que la teneur en potassium du corps est régularisée par homéostasie, et n'est pas influencée par la concentration dans l'environnement.

5.3.2 MRN discrètes

Les sources de MRN discrètes sont de faibles dimensions et dépassent les critères de concentration relatifs à une source diffuse. En raison de la possibilité de débits de dose de rayonnement importants près de la source, les limites de rejet dérivées inconditionnelles sont inférieures à celles des MRN diffuses.

Le tableau 5.2 donne la liste des limites de rejet dérivées inconditionnelles pour les sources de MRN discrètes. La matière doit également atteindre les valeurs de contamination radioactive de surface applicables données au tableau 5.3.

Tableau 5.2
Limites de rejet dérivées inconditionnelles

RADIONUCLÉIDE MRN	Limite de rejet dérivée inconditionnelle [a] (Bq)
Minerai d'uranium (en équilibre avec tous les descendants)	1 000
Uranium 238 (cloisonné) (en équilibre avec le 234 et le protactinium 234)	10 000
Thorium 230 (sans descendance)	10 000
Radium 226 (en équilibre avec ses descendants)	10 000
Plomb 210 (en équilibre avec le bismuth 210 et le polonium 210)	10 000
Thorium 232 (en équilibre avec tous les descendants)	1 000
Radium 228 (en équilibre avec l'actinium 228)	100 000
Thorium 228 (en équilibre avec ses descendants à courte période)	10 000
Potassium 40	1 000 000

Notes :

(a) Les limites de rejet dérivées (LRD) inconditionnelles (activité et concentration) se rapportent au radionucléide père à longue période en équilibre avec ses descendants. On considère que le minerai d'uranium est approprié pour les substances contaminées par des MRN où l'équilibre n'a pas été altéré par le cloisonnement de la famille d'uranium. Si le cloisonnement s'est produit, l'activité de *chaque* radionucléide à longue période doit être déterminée et comparée à la *Limite de rejet dérivée inconditionnelle*. Si plus d'un radionucléide à longue période est présent dans un échantillon, la somme appropriée des rapports de l'activité de chaque radionucléide à longue période et de sa limite de rejet dérivée inconditionnelle correspondante ne doit pas dépasser 1,

p. ex. : $\frac{\text{Activité isotope MRN A}}{\text{LRD inconditionnelles A}} + \frac{\text{Activité isotope MRN B}}{\text{LRD inconditionnelle B}} + \ldots + \frac{\text{Activité isotope MRN N}}{\text{LRD inconditionnelle N}} \leq 1$

5.3.3 Contamination de surface

Les limites de contamination radioactive de surface sur le matériel, les outils ou la ferraille qui font l'objet d'une libération inconditionnelle sont fondées sur l'analyse des voies de radioexposition personnelle jusqu'à une dose annuelle maximale de 0,3 mSv. Les sources de MRN discrètes présentant une contamination de surface inférieure aux limites de rejet dérivées inconditionnelles de contamination de surface du tableau 5.3 peuvent être libérées sans autre enquête.

Tableau 5.3
Limites de rejet dérivées inconditionnelles de contamination de surface – Sources MRN discrètes

Propriété	Limite
Débit de dose	0.5 µh à 50 cm
Contamination de surface	1 Bq/cm^2 en moyenne sur une surface de 100 cm^2

Notes :

1. On recommande d'utiliser un détecteur de rayonnement à fenêtre mince quand on surveille les sources bêta/gamma de contamination de surface.
2. Les limites de rejet du tableau 5.3 ne s'appliquent qu'à la contamination de surface fixée. On doit éliminer complètement la contamination de surface non fixée ou décaper toutes les surfaces accessibles pour assurer une élimination complète.
3. Dans la plupart des cas, les efforts de décontamination qui permettent de respecter les limites de contamination de surface bêta permettront parallèlement de limiter les sources mixtes alpha/bêta/gamma.

6 NORMES POUR LE TRANSPORT DES MRN

Le transport des matières radioactives, comprenant les MRN, dont la radioactivité est inférieure à 70 Bq/g ne fait pas l'objet des règlements de transport fédéraux. Tous les envois de MRN doivent faire l'objet au préalable d'une analyse de radioactivité pour déterminer si la matière répond aux limites de rejet dérivées inconditionnelles et, dans la négative, si les règlements de transport fédéraux s'appliquent.

Les MRN dont l'activité est supérieure à 70 Bq/g relèvent de la compétence fédérale et doivent par conséquent satisfaire aux exigences des règlements fédéraux, et notamment du *Règlement sur l'emballage et le transport*[12] et du *Règlement sur le transport des marchandises dangereuses*[13] de la CCSN pour tous les envois de marchandises dangereuses. Le Règlement sur l'emballage et le transport de la CCSN a été harmonisé avec le Règlement de transport des marchandises radioactives, Collection Sécurité nº 6, de l'AIEA, édition de 1985 (amendée en 1990)[14] avec des prévisions futures d'harmonisation avec le Règlement de transport des marchandises radioactives de l'AIEA, édition de 1996, Rapport ST-1[15].

6.1 Expéditions de MRN non limitées

Les matières qui satisfont à tous les critères suivants de cette classification ne nécessitent pas de dispositions spéciales pour le transport :

- **exclusion générale** : La matière a une activité massique totale inférieure ou égale à 70 Bq/g; et
- **exemption de la CCSN** : il n'y a pas de prescription réglementaire relativement à sa possession ou son utilisation en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* et le Règlement sur l'emballage et le transport conformément à cette loi;
- la matière est conforme aux limites de rejet dérivées inconditionnelles de la section 5.3.

6.2 Expéditions de MRN qui font l'objet des *Lignes directrices canadiennes*

Dans le cas de l'emballage de MRN dont l'activité massique totale est inférieure à 70 Bq/g et dans le cas des quantités de MRN supérieures aux limites de rejet dérivées inconditionnelles, on recommande les points suivants :

- S'assurer que le manifeste de transport contient le descripteur « *Matières radioactives naturelles – MRN* ».
- S'assurer que le colis est emballé de manière à empêcher efficacement le rejet de toute contamination de MRN lors du transport.
- **Ne pas** apposer des plaques ou étiquettes « Matières radioactives » sur le véhicule de transport ou sur les surfaces extérieures de l'emballage.

6.3 Expéditions de MRN régies par les règlements de transport fédéraux

Dans le cas du transport de MRN dont l'activité massique totale est supérieure à 70 Bq/g, le lecteur doit se reporter aux règlements de la CCSN et aux règlements sur le transport de la Collection Sécurité de l'AIEA. Il est essentiel d'avoir accès à un exemplaire des règlements. La préparation de ces colis en vue du transport comprend plusieurs étapes. Il en résulte que l'on doit planifier des délais de quatre à six semaines avant l'expédition. Pour plus d'information sur les prescriptions de transport, communiquer avec l'organisme gouvernemental fédéral, provincial ou territorial approprié. Une liste d'adresses gouvernementales est donnée à l'annexe B

6.4 Exclusions de contamination de surface des MRN

Un objet contaminé en surface (OCS) est un objet solide qui n'est pas lui-même radioactif mais à la surface duquel des matières radioactives sont réparties. Un objet qui présente une contamination externe est exempté du Règlement sur l'emballage et le transport de la CCSN si :

(a) la contamination non fixée dont la moyenne sur chaque surface de 300 cm^2 est inférieure à 0,4 Bq/cm^2 dans les cas des émetteurs bêta et gamma et des émetteurs alpha de faible toxicité*, et est inférieure à 0,04 Bq/cm^2 dans le cas de tout autre émetteur alpha; et

(b) l'objet lui-même a une activité massique moyenne inférieure à 70 Bq/g.

*Les émetteurs alpha de faible toxicité sont : l'uranium naturel, l'uranium appauvri, l'uranium 235 ou l'uranium 238, le thorium 232, le thorium 228 et le thorium 230 présents dans les minerais ou les concentrés physiques ou chimiques, ou des émetteurs alpha dont la période est inférieure à 10 jours.

6.5 Information supplémentaire

Voir le Règlement sur le transport des marchandises dangereuses, le Règlement sur l'emballage et le transport de la CCSN et le Règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA qui donnent des informations supplémentaires sur les prescriptions relatives au transport des MRN [12,13,14,15].

RÉFÉRENCES

1 *Guidelines for The Handling of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) In Western Canada*, Western Canadian NORM Committee, août 1995.

2 *Canada : Vivre avec le rayonnement*, *Groupe Communication Canada* – Édition, 1995.

3 Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique de 1990, Publication CIPR 60, Annales de la CIPR, vol. 21, nº 1-3, 1991.

4 *Protection Against Radon-222 at Home and at Work*, Publication CIPR 65, Annales de la CIPR, vol. 23, nº 2, 1993.

5 *1994 Dose Coefficients for Intake of Radionuclides by Workers*, Publication CIPR 68, Annales de la CIPR, vol. 24, nº 4, 1994.

6 *Age Dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Partie 5 – Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients*, Publication CIPR 72, Annales de la CIPR, vol. 26, nº 1, 1996.

7 *Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste*, Publication CIPR 77, Annales de la CIPR, vol. 27, Supplément 1997.

8 *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Collection Sécurité AIEA, nº 115, 1996.

9 *Normes techniques et d'assurance de la qualité des services de dosimétrie au Canada*, S-106, Norme conjointe fédéral-provincial, publiée par la Commission de contrôle de l'énergie atomique, 20 mars 1998.

10 *Le radon : Guide à l'usage des propriétaires canadiens*, Société canadienne d'hypothèques et de logement et Santé Canada, 1997.

11 *Choix, entretien et utilisation des appareils respiratoires*, Association canadienne de normalisation, Z94.4-93, août 1994.

12 Règlement sur l'emballage et le transport, Commission canadienne de sûreté nucléaire, Gazette du Canada, Partie I, octobre 1998.

13 Règlement sur le transport des marchandises dangereuses, Gazette du Canada, Partie II, juillet 1980.

14 Règlement de transport des matières radioactives, édition de 1985 (amendement de 1990), Collection Sécurité nº 6, AIEA 1990.

15 *Règlement de transport des matières radioactives*, Collection Sécurité AIEA nº ST-1, 1996.

16 *Recommandations pour l'eau potable au Canada*, 6e édition, Santé Canada, 1996.

A ANNEXE

Liste d'adresses des publications

Commission canadienne de sûreté nucléaire

Bureau d'information publique
280, rue Slater, C.P. 1046
Ottawa (Ontario) K1P 5S9

Santé Canada

Bureau de la radioprotection, LP 6302D1
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ontario) K1A 1C1

Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)

Bernan Associates
4611-F Assembly Drive
Lantham, MD. 20706-4391

Agence internationale de l'énergie atomique
Division des publications
Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100
A-1400 Vienna, Austria

Commission internationale de protection radioactive (CIPR)

Pergamon Press Inc.
Maxwell House, Fairview Park
Elmsford, New York, U.S.A.

Pergamon Press plc,
Headington Hill Hall
Oxford, U.K. OX3 0BW

Guidelines for the Handling of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Western Canada

Alberta Human Resources and Employment
Information Services
2nd Floor, 10808 - 99 Avenue
Edmonton (Alberta) Canada T5K 0G5

B ANNEXE

Adresses gouvernementales

Organismes du gouvernement fédéral

Commission canadienne de sûreté nucléaire
(ex-Commission de contrôle de l'énergie atomique)

C.P. 1046
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
1 800 668-5284 ou (613) 992-2915

Santé Canada

Bureau de la radioprotection
Division des dangers des rayonnements du milieu
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ontario) K1A 1C1
(613) 954-6671

Fichier dosimétrique national

Santé Canada
Bureau de la radioprotection
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ontario) K1A 1C1
(613) 954-6663

Organismes des gouvernements provinciaux

Alberta

Workplace Health and Safety
Alberta Human Resources and Employment
9th Floor, 10808- 99 Avenue
Edmonton (Alberta) T5K 0G5
(780) 427-6971

Colombie-Britannique

Radiation Protection Branch
BC Ministry of Health
4940 Canada Way, Suite 210
Burnaby (Colombie-Britannique) V5G 4K6
(604) 660-6630

Île-du-Prince-Édouard

Division of Environmental Health
Department of Health and Social Services
Government of Prince Edward Island
P.O. Box 2000
Charlottetown (Î.-P.-É.) C1A 7N8
(902) 894-2277

Manitoba

Radiation Protection Section
Manitoba Cancer Treatment and Research Foundation,
100 Olivia Street
Winnipeg (Manitoba) R3E 0V9
(204) 787-2213

Nouveau-Brunswick

Public Health Management Unit
Health and Community Services
P.O. Box 5100
Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3B 5G8
(506) 453 2638

Nouvelle-Écosse

Department of Environment and Labour
P.O. Box 697
Halifax (Nouvelle-Écosse) B3J 2T8
(902) 424-4077 ou -4300

Ontario

Ministère du Travail de l'Ontario
Service Radioprotection
81 Resources Road
Weston (Ontario) M9P 3T1
(416) 326-1403

Québec

Service de la Promotion de saines habitudes de vie et de dépistage
Ministère de la Santé et des Services sociaux
Québec (Québec) G1S 2M1
(418) 646-2515

Saskatchewan

Radiation Safety Unit
Occupational Health and Safety Division
Saskatchewan Labour
1870 Albert Street
Regina (Saskatchewan) S4P 3V7
(306) 787-4538

Terre-Neuve

Employment and Labour Relations
Fall River Plaza, P.O. Box 8700
270 Torbay Road
St. John's (Terre-Neuve) A1C 4J6
(709) 729-0218

Territoires du Nord-Ouest

Department of Health and Social Services
Government of the Northwest Territories
7th Floor, Centre Square Tower
P.O. Box 320
Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest) X1A 2L9
(867) 920-3293

Territoire du Yukon

Workers Compensation Health & Safety
Government of the Yukon Territory
401 Strictland Street
Whitehorse (Territoire du Yukon) Y1A 5N8
(780) 667-5450

Territoire Nunavut

Department of Health and Social Services
Government of the Northwest Territories
7th Floor, Centre Square Tower
P.O. Box 320
Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest) X1A 2L9
(867) 920-3293

C ANNEXE

Facteurs de conversion des unités de rayonnement

PRÉFIXES

T : téra	10^{12}	M : méga	10^{6}	m : milli	10^{-3}	n : nano	10^{-9}
G : giga	10^{9}	k : kilo	10^{3}	μ : micro	10^{-6}	p : pico	10^{-12}

ACTIVITÉ

Unités SI				Anciennes unités		
1 Bq	=	1 d/s	=	27 pCi	=	$2{,}7 \times 10^{-11}$ Ci
1 kBq	=	1×10^{3} d/s	=	27 nCi	=	$2{,}7 \times 10^{-8}$ Ci
1MBq	=	1×10^{6} d/s	=	27 μCi	=	$2{,}7 \times 10^{-5}$ Ci
1 GBq	=	1×10^{9} d/s	=	27 mCi	=	$2{,}7 \times 10^{-2}$ Ci
1 TBq	=	1×10^{12} d/s	=	27 Ci	=	$2{,}7 \times 10$ Ci
37 mBq	=	0,037 d/s	=	1 pCi	=	1×10^{-12} Ci
37 Bq	=	37 d/s	=	1 nCi	=	1×10^{-9} Ci
37 kBq	=	$3{,}7 \times 10^{4}$ d/s	=	1 μCi	=	1×10^{-6} Ci
37 MBq	=	$3{,}7 \times 10^{7}$ d/s	=	1 mCi	=	1×10^{-3} Ci
37 GBq	=	$3{,}7 \times 10^{10}$ d/s	=	1 Ci	=	1 Ci

DOSE ABSORBÉE

Unités SI – anciennes unités			Anciennes unités – unités SI		
1 Gy = 100 rad	1 mGy = 0,1 rad	1 μGy = 0,1 mrad	1 rad = 10 mGy	1 mrad = 10 μGy	1 rad = 0,01 μGy

ÉQUIVALENT DE DOSE « DOSE BIOLOGIQUE »

Unités SI – anciennes unités			Anciennes unités – unités SI		
1 Sv = 100 rem	1 mSv = 0,1 rem	1 μSv = 0,1 rem	1 rem = 10 mSv	1 mrem = 10 μSv	1 rem = 0,01 μSv

RADON

Domaine de radioexposition	**Radon (gaz)** (Bq/m^3)		**Descendants du radon** (WLM)		**Descendants du radon** (mJ h/m^3)		**Dose de rayonnement annuelle** (mSv/a)
Exposition professionnelle (2 000 heures par an)	150	=	0,2	=	0,67	=	1

D ANNEXE

Calculs de dose efficace

1. Catégories de doses efficaces

La dose efficace totale, E_T est calculée à partir de trois catégories de radioexposition :

a. Dose gamma et bêta externe

Cette catégorie de dose, équivalent de dose individuelle du rayonnement pénétrant, est symbolisée par « **$H_p(10)$** » et représente la dose bêta/gamma reçue dans une période de dosimétrie. Une période de dosimétrie d'un an est définie comme la période de dosimétrie commençant le 1er janvier et ayant une durée d'une année civile. La période de dosimétrie de cinq ans signifie la période de cinq années civiles commençant le 1er janvier de l'année qui suit la publication de ces lignes directrices, et par la suite toute période de cinq années civiles.

b. Dose interne due à l'incorporation de radionucléides

Cette catégorie de dose est symbolisée par « **I** » et représente l'estimation de la période de dosimétrie d'un an ou de cinq ans d'incorporation (inhalation et ingestion) de nucléides MRN autres que ceux du radon et de ses descendants.

c. Inhalation du radon (gaz) et de ses descendants

Cette catégorie de dose est définie par l'exposition cumulée aux descendants du radon symbolisés par « **RnP** » avec les unités alpha-mois (WLM). RnP représente l'estimation de la période de dosimétrie d'un an ou de cinq ans d'inhalation cumulée des descendants du radon par les travailleurs.

Aux fins d'enregistrement des doses, on peut mesurer et enregistrer séparément chaque catégorie de dose.

Afin de se conformer aux présentes *Lignes directrices*, ou aux règlements de limite de dose fédéraux, provinciaux ou territoriaux, on doit combiner ces catégories pour calculer une seule dose efficace pour chaque personne. On compare alors cette dose combinée, la dose efficace, aux limites de dose de rayonnement que l'on trouve au tableau 2.1 des *Lignes directrices*.

2. Calculs de la dose efficace et de la conformité à la limite de dose

Pour ce qui est de la conformité à la dose aux travailleurs, les *Lignes directrices* prescrivent des calculs de dose sur une période de dosimétrie d'un an et de cinq ans. Les calculs de la période de dosimétrie d'un an sont nécessaires pour se conformer aux limites de dose efficace maximale d'un an, tandis que les calculs de la période de dosimétrie de cinq ans démontrent la conformité avec les limites de dose cumulée pour une période de cinq ans. La limite cumulée de cinq ans sous-entend également une limite de dose annuelle moyenne.

Dans le cas des travailleurs, la limite annuelle moyenne implicite sur une période de cinq ans est une dose efficace annuelle de 20 mSv par rapport à la dose maximale de 50 mSv dans une seule période de dosimétrie d'un an. Dans le cas du public, y compris les travailleurs exposés occasionnellement, la limite annuelle est 1 mSv et la limite de cinq ans équivaut à cinq fois la limite annuelle. La méthode de calcul de dose suivante est recommandée pour déterminer les résultats de la période de dosimétrie d'un an et de cinq ans.

A. Périodes de dosimétrie d'un an

Étape 1

Calculer la dose annuelle reçue provenant de chaque catégorie de dose.

Expositions gamma et bêta externes	Dose annuelle reçue provenant de toute les sources externes, $H_p(10)$.

Incorporation de radionucléides (expositions internes) Dose annuelle reçue provenant de toutes les sources internes, $I = \Sigma A_n \times CD_{wn}$ où A_n est l'incorporation d'activité de radionucléide n et CDwn est le coefficient de dose au travailleur approprié spécifié pour le nucléide MRN, n (voir le tableau 4.1). Dans le cas de l'inhalation, le CD_{wn} choisi au tableau 4.1 dépendra de la forme chimique du radionucléide, qui déterminera si l'absorption des poumons est rapide (R), moyenne (M) ou lente (L).

Inhalation de radon 222 Dose annuelle reçue par inhalation des descendants du radon 222, Rn_d = 5(RnP), où la conversion de dose pour les travailleurs de WLM en mSv est de 5 pour les descendants du radon 222. Les descendants du radon 220 doivent être traités distinctement.

Étape 2. Conformité de la limite de dose de cinq ans

Déterminer la dose efficace en ajoutant l'apport de dose des trois catégories. Pour déterminer si la dose efficace totale annuelle reçue est conforme aux *Lignes directrices*, on doit la comparer à la limite de dose de cinq ans appropriée du tableau 2.1.

Conformité : $E_T = H_p(10) + I + Rn_d \leq$ la valeur appropriée du tableau 2.1

Exemple 1 : Au cours de l'année, un travailleur a été exposé au rayonnement gamma externe, a ingéré du radium dans la poussière et a été exposé aux descendants du radon 222. Les doses enregistrées pour le travailleur sont les suivantes :

Source	Dose/incorporation enregistrée	Dose efficace
Rayonnement externe $H_p(10)$	12 mSv	$H_p(10)$ = 12 mSv
Rayonnement interne (radium 226) I_n	9 000 Bq	I = 2,5 mSv
RnP radon	0,4 WLM	Rn_d = 2 mSV

On peut calculer le composant de dose interne du travailleur (I) en utilisant le tableau 4.1. Le CD_w d'ingestion dans le cas du ^{226}Ra est de 2,8 e-7 Sv/Bq.

Donc $I = (9\,000 \text{ Bq})(2{,}8 \text{ e-}7 \text{ Sv/Bq})$
$= 0{,}0025 \text{ Sv} = 2{,}5 \text{ mSv}$

On peut calculer le composant de dose de radon (Rn_d) de ce travailleur en multipliant la dose en WLM par 5 pour la convertir en mSv.

Donc $Rn_d = (0{,}4 \text{ WLM})(5 \text{ mSv/WLM})$
$= 2 \text{ mSv}$

La dose efficace :
$ET = H_p(10) + I + Rn_d$
$= 12 \text{ mSv} + 2{,}5 \text{ mSv} + 2 \text{ mSv}$
$= 16{,}5 \text{ mSv}$

Conclusion : Le travailleur n'a pas dépassé la limite de dose annuelle de 50 mSv. Toutefois, le travailleur se rapproche de la limite de dose annuelle moyenne qui correspond à la limite de cinq ans (20 mSv/a).

B. Période de dosimétrie de cinq ans

Étape 1

Calculer la dose reçue dans la période de cinq ans, ou une partie de celle-ci, de chaque catégorie de dose.

Expositions gamma et bêta externes La dose totale reçue au cours de la période de cinq ans, ou une partie de celle-ci, provenant de toutes les sources externes = $H_p(10)$.

Ingestion de radionucléides (expositions internes) La dose totale reçue au cours de la période de cinq ans, ou une partie de celle-ci, provenant de toutes les sources internes = $I = \sum A_n \times Cd_{wn}$, où A_n est l'incorporation d'activité du radionucléide n et CD_{wn} est le coefficient de dose du travailleur spécifié pour ce nucléide MRN (voir le tableau 4.1). Dans le cas de l'inhalation, le CD_{wn} choisi au tableau 4.1 dépendra de la forme chimique du radionucléide, qui déterminera si l'absorption des poumons est rapide (R), moyenne (M) ou lente (L).

Inhalation de radon 222 Dose totale reçue au cours de la période de cinq ans ou une partie de celle-ci, par inhalation de descendants du radon 222, $Rn_d = 5(RnP)$, où dans le cas des travailleurs la conversion de dose de WLM en mSv est 5. Les descendants du radon 220 doivent être traités distinctement.

Étape 2. Conformité de la limite de dose de cinq ans

Déterminer la dose efficace en ajoutant l'apport de dose des trois catégories. Pour déterminer si la dose efficace totale annuelle reçue est conforme aux *Lignes directrices*, on doit la comparer à la limite de dose de cinq ans appropriée du tableau 2.1.

Conformité : $E_T = H_p(10) + I + Rn_d \leq$ la valeur appropriée du tableau 2.1

Exemple 2 : Au cours d'une période de cinq ans, un travailleur a été exposé au rayonnement gamma externe, a ingéré du radium dans la poussière et a été exposé aux descendants du radon 222. Les doses enregistrées pour le travailleur sont les suivantes :

Source	Dose/incorporation enregistrée	Dose efficace
Rayonnement externe $H_p(10)$	30 mSv	$H_p(10) = 30$ mSv
Rayonnement interne (radium 226) I_n	26 000 Bq	$I = 7{,}3$ mSv
RnP radon	1 WLM	$Rn_d = 5$ mSV

On peut calculer le composant de dose interne du travailleur (I) en utilisant le tableau 4.1. Le CD_w dans le cas du ^{226}Ra est de 2,8 e-7 Sv/Bq.

Donc $I = (26\,000 \text{ Bq})(2{,}8 \text{ e-}7 \text{ Sv/Bq})$
$= 0{,}073 \text{ Sv} = 7{,}3 \text{ mSv}$

On peut calculer le composant de dose de radon (Rn_d) du travailleur en multipliant la dose en WLM par 5 pour la convertir en mSv.

Donc $Rn_d = (1 \text{ WLM})(5 \text{ mSv/WLM})$
$= 5 \text{ mSv}$

La dose efficace :

$E_T = H_p(10) + I + Rn_d$
$= 30 \text{ mSv} + 7{,}3 \text{ mSv} + 5 \text{ mSv}$
$= 42{,}3 \text{ mSv}$

Conclusion : Le travailleur n'a pas dépassé la limite de dose de cinq ans de 100 mSv.

E ANNEXE

Dérivation des limites de rejet dérivées inconditionnelles de MRN diffuses

La limite de rejet dérivée inconditionnelle pour les sources de MRN diffuses (solides, air et eau) correspond à la concentration du radionucléide père (Bq par unité de masse ou volume), en équilibre avec ses descendants, qui pourrait se traduire par une dose de 0,3 mSv par an provenant des voies prises en compte dans l'évaluation, fondée sur des hypothèses d'exposition prudentes (les hypothèses prudentes sont celles qui sont le moins susceptibles de minimiser l'exposition). Les voies, les hypothèses et autres renseignements associés sont donnés ci-après pour le calcul des limites dans le cas des chaînes de désintégration énumérées au tableau 5.1.

Les limites de rejet dérivées inconditionnelles ont été calculées pour ^{40}K et pour les familles radioactives ^{238}U et ^{232}Th. Les valeurs pour les deux familles radioactives sont données pour les diverses sous-chaînes que l'on peut supposer en équilibre, c'est-à-dire le radionucléide père en équilibre avec ses descendants à plus courte période. Par exemple, dans la famille ^{238}U, une limite de rejet est donnée pour ^{210}Pb en équilibre avec ses descendants, ^{210}Bi et ^{210}Po.

Voies d'exposition pour les sources de MRN diffuses

MRN solides

Dans le cas des MRN solides diffuses, la limite de rejet est la concentration dans le sol (Bq/kg) ***au récepteur*** qui se traduirait par une dose de 0,3 mSv/a à un adulte de référence. Selon une modification apportée à la méthode de dépistage recommandée par la National Commission for Radiation Protection (NCRP) pour le stockage de radionucléides dans le sol (NCRP 1996), on émet l'hypothèse que la matière radioactive est répartie uniformément dans ce sol à une profondeur infinie, et que la personne de référence séjourne sur ce sol et consomme des produits cultivés sur le sol. On a pris en compte les voies d'exposition et hypothèses suivantes :

- Le radionucléide père et ses descendants sont en équilibre.
- L'adulte de référence est exposé à une irradiation externe directe du sol, qui est hypothétiquement contaminé de façon homogène à une profondeur infinie.
- La personne reçoit une dose interne provenant de l'inhalation de poussière remise en suspension, contaminée au même niveau que le sol.
- La moitié de l'approvisionnement annuel en légumes de la personne est cultivée sur un sol contaminé. On suppose que le terrain n'est pas un lieu de pâturage, donc qu'il n'y a aucune dose due à la consommation de produits d'origine animale.
- La personne ingère de la terre contaminée provenant de produits de la terre non lavés, de la saleté sur les mains, etc.
- On suppose que la personne de référence occupe les lieux trois mois par an, touchant les voies d'irradiation directe, d'inhalation et d'ingestion de terre.

MRN en suspension dans l'air

Dans le cas des MRN en suspension dans l'air, la limite de rejet inconditionnelle correspond à la concentration dans l'air (Bq/m^3) ***au récepteur*** qui se traduirait par une dose de 0,3 mSv/a à un adulte de référence due à l'inhalation. Les hypothèses suivantes s'appliquent :

- Seule la voie d'inhalation est prise en compte.
- Le radionucléide père et ses descendants sont en équilibre (très prudent).
- On suppose que la personne de référence occupe les lieux trois mois par an.

MRN aqueuses

Dans le cas des MRN aqueuses, la limite de rejet dérivée inconditionnelle est la concentration dans l'eau (Bq/L) ***au point de rejet*** qui se traduirait par une dose inférieure à 0,3 mSv/a à un adulte de référence consommant de l'eau pendant une année entière en supposant une dilution quadruplée à décuplée de la concentration entre le point de rejet des MRN et une prise d'eau potable. On ne suppose pas d'équilibre entre le père et ses descendants. La limite de rejet équivaut par conséquent à 10 fois la concentration acceptable maximale donnée dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 6e édition (Santé Canada 1996), qui est fondée sur une dose de 0,1 mSv/a. Quelle que soit la ligne directrice des MRN, les normes provinciales relatives à l'eau potable s'appliqueraient dans tous les cas à l'eau rejetée.

Étude des paramètres utilisés dans la dérivation des limites de rejet inconditionnelles

Les facteurs d'assimilation du sol par les plantes, Bv_x dans le cas des divers radionucléides visés sont tirés de Zach et Sheppard (1992), tableau 6. Ils ont été choisis par Zach et Sheppard, en se fondant sur un examen des données disponibles, comme étant des valeurs moyennes appropriées pour le Bouclier canadien.

Les taux de consommation annuels de légumes et de terre pour les adultes sont tirés de Santé Canada (1993). On a appliqué un facteur de 0,5 à l'ingestion de produits de la terre pour prendre en compte l'hypothèse selon laquelle la moitié des produits de la terre ingérés annuellement sont cultivés sur un sol contaminé. Le taux de consommation d'eau d'un adulte est tiré de Santé Canada (1996). Le taux d'inhalation provient de la Publication 71 de la CIPR (1995), tableau 6. La densité du sol (pour la conversion des coefficients de dose d'exposition externe aux matières radioactives déposées sur le sol) est tirée de la CSA (1987). Le facteur de remise en suspension du sol est tiré de Davis *et al.* (1993). Un facteur de correction d'occupation de 0,25 a été appliqué à l'exposition aux sources de MRN en suspension dans l'air par inhalation et aux expositions à des sources de MRN solides par :

- irradiation par les matières radioactives déposées sur le sol;
- ingestion de terre; et
- inhalation de poussière remise en suspension.

Les coefficients de dose efficace engagée pour l'exposition interne (inhalation, ingestion) sont tirés de la Publication 72 (1996) de la CIPR. Les coefficients de débit de dose externe pour le sol contaminé à une profondeur infinie sont tirés de Eckerman et Legett (1996); Eckerman and Ryman (1993). Ces valeurs sont en accord avec les méthodes CIPR 50. Les valeurs des paramètres utilisés dans le calcul des limites de rejet inconditionnelles sont résumées au tableau 1.

On émet l'hypothèse que :

- tous les radionucléides dans le groupe père-descendants déterminé sont en équilibre tant pour les sources de MRN solides que pour celles en suspension dans l'air;
- dans le cas des MRN aqueuses, on n'émet pas l'hypothèse d'un équilibre, et la limite de rejet inconditionnelle est fondée sur chaque radionucléide distinct rejeté;
- tous les milieux sont en équilibre et à l'état stationnaire;
- aucune tolérance n'est prévue pour les temps de transfert entre les milieux, ou pour les temps d'attente des aliments (par exemple entre la récolte et la consommation);
- aucune correction n'est faite pour la réduction de l'irradiation externe due au blindage, à la rugosité de surface, etc.

Tableau E.1
Valeurs des paramètres

Paramètre	Valeur		Référence
Incorporation de terre par les plantes, Bv_x	Élément	Bv_x	(Zach et Sheppard, 1992)
(Bq/kg humide / Bq/kg sec)	K	2,5E-01	
	Pb	1,1E-02	
	Bi	8,8E-03	
	Po	6,3E-04	
	Ra	3,3E-03	
	Ac	8,8E-04	
	Th	2,1E-04	
	Pa	6,3E-04	
	U	2,1E-03	
Densité du sol (kg m^{-3})		1,6E+03	(CSA 1987)
Consommation d'aliments : Lég (kg a^{-1})		2,5E+02	(Santé Canada 1993)
Taux d'ingestion de terre (kg a^{-1})		7,3E-03	(Santé Canada 1993)
Charge de poussière – remise en suspension (kg m^{-3})		6,0E-08	(Davis, *et al.*, 1993)
Débit de respiration adulte (m^3 a^{-1})		8,1E+03	(CIPR 1995)
Facteur d'occupation		2,5E-01	(NCRP 1996)
Coefficients de dose externe (Sv m^3 Bq^{-1} s^{-1})		Note (a)	(Eckerman et Leggett 1996)
Coefficients de dose interne (Sv Bq^{-1})		Note (a)	(CIPR 1996)

(a) Les coefficients de dose varient selon le radio-isotope considéré. Consultez les références pour obtenir les valeurs désirées.

Méthodologie et équations

MRN solides et en suspension dans l'air

Dans le cas d'une chaîne de désintégration en équilibre donnée (p. ex. : $^{238}U \rightarrow ^{234}Th \rightarrow ^{234m}Pa$), les doses qui résultent d'une concentration unitaire de *chaque* radionucléide, *x*, par chaque voie d'exposition pertinente, *y*, appelée $D_{x,y}$ (mSv a^{-1}) ont été calculées comme suit où $CD_{x,y}$ est le coefficient de dose efficace propre au radionucléide et à la voie d'exposition.

Dans le cas MRN solides :

- Exposition externe à la matière radioactive déposée sur le sol

$D_{x,ext/sol}$ = concentration sol_x (Bq/kg) × $CD_{x,ext/sol}$ (Sv m^3 Bq^{-1} s^{-1}) × densité du sol (kg m^{-3}) × {3,16 × 10^7 (s a^{-1}) × facteur d'occupation (0,25)} × 1000 (mSv Sv^{-1})

- Interne/ingestion de légumes

$D_{x,ingest/lég}$ = concentration sol_x (Bq/kg) × $CD_{x,ingest}$ (Sv Bq^{-1}) × {Facteur d'incorporation des plantes × taux de consommation lég. (kg a^{-1}) × 0,5} × 1 000 (mSv Sv^{-1})

- Interne/ingestion de terre

$D_{x,ingest/terre}$ = concentration sol_x (Bq/kg) × $CD_{x,ingest}$ (Sv Bq^{-1}) × {taux d'ingestion de terre (kg a^{-1}) × facteur d'occupation (0,25)} × 1000 (mSv Sv^{-1})

- Interne/inhalation de matières remises en suspension

$D_{x,inhal/remas}$ = concentration sol_x (Bq/kg) × $CD_{x,inhal}$ (Sv Bq^{-1}) × facteur de charge de poussière (kg m^{-3}) × {taux d'inhalation (m^3 a^{-1}) × facteur d'occupation (0,25)} × 1 000 (mSv Sv^{-1})

Dans le cas de MRN en suspension dans l'air :

- Interne/inhalation de matières en suspension dans l'air

$D_{x,inhal/air}$ = concentration dans l'air (Bq m^{-3}) × $CD_{x,inhal}$ (Sv Bq^{-1}) × {taux d'inhalation (m^3 a^{-1}) × facteur d'exposition (0,25)} × 1 000 (mSv Sv^{-1})

Calcul de la limite de rejet dérivée inconditionnelle

La dose totale par concentration unitaire (solide ou en suspension dans l'air) est donnée par une somme double sur chaque radionucléide et voie d'exposition :

$D_{total,\ solide/air}$ (mSv a^{-1} par Bq/kg (ou m^{-3})) = $\sum_x \sum_y D_{x,y}$ pour chaque radionucléide, x, dans chaque voie d'exposition, y

La limite de rejet dérivée inconditionnelle, LRDI, pour le père en équilibre avec ses descendants est :

LRDI (Bq/kg (ou m^{-3})) = 0,1 mSv a^{-1} / $D_{total,\ solide/air}$ (mSv a^{-1} par Bq/kg (ou m^{-3}) pour les solides (ou en suspension dans l'air))

MRN aqueuses

Comme on l'a vu plus haut, la limite de rejet dérivée inconditionnelle pour les MRN aqueuses équivaut à 10 fois la concentration acceptable maximale donnée dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 6e édition (Santé Canada 1996) pour le radionucléide père. On n'émet pas l'hypothèse d'un équilibre entre le père et les descendants.

Limites de rejet dérivées inconditionnelles

Le tableau 5.1 des *Lignes directrices* donne un résumé des limites de rejet dérivées inconditionnelles calculées pour les nucléides MRN important dans les familles radioactives de l'uranium et du thorium et pour le potassium 40.

Références

CSA (1987) CAN/CSA-N288.1-M87, Guidelines for Calculating Derived Release Limits for Radioactive Material in Airborne and Liquid Effluents for Normal Operation of Nuclear Facilities (1987)

Davis P.A., *et al.* (1993) The Disposal of Canada's Nuclear Fuel Waste: The Biosphere Model, BIOTRAC, for Postclosure Assessment, AECL-10720, COG-93-10. AECL Recherche, Whiteshell.

Eckerman K.F. et Ryman J.C. (1993) Federal Guidance Report No. 12: External exposure to radionuclides in air, water, and soil. EPA 402-R-93-081. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation and Indoor Air, Washington, DC.

Eckerman K.F. et Leggett R.W. (1996) DCFPAK: Dose coefficient data file package for Sandia National Laboratory, ORNL/TM-13347. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.

Santé Canada (1993) Reference values for Canadian populations. Santé Canada, Environmental Health Directive, Ottawa.

Santé Canada (1996) Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 6e édition. 96-EHD-196. Ottawa.

CIPR (1995) Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 Inhalation dose coefficients. Publication 71. Annales CIPR 25 (3-4), Pergamon Press, Oxford.

CIPR (1996) Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5 Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Publication CIPR 72. Annales CIPR 26 (1), Pergamon Press, Oxford.

NCRP (1996) Screening models for releases of radionuclides to atmosphere, surface water and ground. NCRP Report No. 123I. NCRP Publications, Bethesda, MD.

Zach R., Sheppard S.C. (1992) The Food-Chain and Dose Submodel, CALDOS, for the Assessment of Canada's Nuclear Fuel Waste Management Concept, AECL-10165, COG-91-195. AECL Recherche, Whiteshell.

F ANNEXE

Éléments d'un programme de radioprotection officiel

Programme de radioprotection

Les employeurs qui mettent en œuvre un programme de radioprotection doivent, dans le cadre du programme, maintenir l'exposition aux descendants du radon et la dose efficace reçue et engagée par les personnes au niveau le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre. Pour ce faire, ils doivent assurer :

(i) le contrôle de gestion des pratiques de travail;

(ii) la qualification et la formation du personnel;

(iii) le contrôle de radioexposition professionnelle et du public;

(iv) la planification dans le cas de situations inhabituelles.

Un employeur doit vérifier l'exposition aux descendants du radon et la dose efficace en effectuant des mesures directes résultant de la surveillance, ou par des estimations d'experts.

Diffusion de l'information

(1) L'employeur doit informer chaque travailleur exposé professionnellement, par écrit :

(a) qu'il est un travailleur exposé professionnellement;

(b) des risques associés au rayonnement auquel le travailleur peut être exposé au cours de son travail, ainsi que des risques associés à la radioexposition des embryons et fœtus;

(c) des limites de dose de rayonnement applicables aux travailleurs exposés professionnellement données au tableau 2.1;

(d) des niveaux de dose de rayonnement des travailleurs.

(2) L'employeur doit informer chaque travailleuse exposée professionnellement, par écrit des limites de dose efficace applicables données au tableau 2.1.

(3) L'employeur doit obtenir de chaque travailleur exposé professionnellement une reconnaissance écrite que le travailleur a reçu cette information.

Utilisation d'un service de dosimétrie autorisé

Les employeurs doivent utiliser un service de dosimétrie répondant aux prescriptions du document S-106, Normes techniques et d'assurance de la qualité des services de dosimétrie au Canada[9], pour mesurer les doses de rayonnement aux travailleurs exposés professionnellement susceptibles de recevoir une dose efficace supérieure à 5 mSv dans une période de dosimétrie d'un an.

Travailleurs exposés professionnellement

Un travailleur exposé professionnellement doit, à la demande de l'employeur, donner les renseignements suivants :

(a) prénoms, nom de famille et nom de famille antérieur;

(b) numéro d'assurance sociale;

(c) sexe;

(d) date, province ou état et pays de naissance;

(e) dose pour les périodes de dosimétrie d'un an et de cinq ans en cours.

Travailleuses enceintes exposées professionnellement

Toute travailleuse exposée professionnellement qui apprend qu'elle est enceinte doit en informer immédiatement l'employeur par écrit.

Dès qu'il est informé par une travailleuse exposée professionnellement qu'elle est enceinte, l'employeur doit prendre les mesures qui s'imposent, note (b), tableau 2.1, ce qui ne devrait pas présenter de difficultés indues pour l'employée.

Dépassement de la limite de dose

Quand un employeur est au courant qu'une dose de rayonnement reçue et engagée par une personne peut avoir dépassé une limite de dose applicable donnée au tableau 2.1, l'employeur doit :

(a) avertir immédiatement la personne et les autorités provinciales de la dose;

(b) demander que la personne cesse de faire le travail qui risque d'augmenter la dose;

(c) mener une enquête pour déterminer l'intensité de la dose et pour établir les causes de l'exposition;

(d) déterminer et prendre les mesures nécessaires pour empêcher qu'un incident semblable ne se reproduise;

(e) dans les 21 jours après qu'il ait appris que la limite de dose a été dépassée, déclarer les résultats de l'enquête à l'autorité gouvernementale appropriée (dont la liste figure à l'annexe B) ou indiquer les progrès qui ont été réalisés lors de l'enquête.

Reprise du travail

Si une personne a reçu une dose équivalente qui dépasse une limite de dose équivalente donnée au tableau 2.1, et si les autorités provinciales acceptent que la personne reprenne son travail, l'autorisation peut spécifier les conditions et les limites de dose calculées au prorata.

Dans cette section, une limite de dose efficace calculée au prorata correspond au produit obtenu en multipliant la limite de dose applicable donnée au tableau 2.1 par le rapport du nombre de mois qui reste dans la période de dosimétrie et du nombre total de mois dans la période de dosimétrie.

Étiquetage et panneaux

Étiquetage des conteneurs et des dispositifs

Les conteneurs dans lesquels sont stockées des MRN doivent porter une étiquette sur laquelle sont inscrits :

(a) le symbole de mise en garde contre les rayonnements illustré à la figure G 1 ainsi que les mots « RAYONNEMENT – DANGER – RADIATION »;

(b) le nom, la quantité, la date de mesure et la forme de la matière radioactive dans le conteneur.

Cela ne s'applique pas à un conteneur utilisé pour contenir une matière radioactive en vue d'une utilisation en cours ou immédiate ou dans lequel la quantité de matière radioactive est inférieure ou égale aux quantités données au tableau 5.1. Pour le transport de matières radioactives, voir la section 6, Normes pour le transport des MRN.

Mise en place de panneaux aux limites et points d'accès

L'employeur doit placer un panneau durable et lisible sur lequel est inscrit le symbole de mise en garde contre les rayonnements illustré à la figure G 1 et les mots « RAYONNEMENT – DANGER – RADIATION », à la limite et à chaque point d'accès à la zone, salle ou enceinte,

où,

(a) de la matière radioactive est présente et dont l'activité est supérieure à 100 fois la valeur indiquée au tableau 5.1 dans une zone, salle ou enceinte;

ou

(b) une personne dans la zone, la salle ou l'enceinte est susceptible d'être exposée à un débit de dose de rayonnement supérieur à 25 µSv/h.

Utilisation du symbole de mise en garde contre les rayonnements

Chaque fois que l'on utilise le symbole de mise en garde contre les rayonnements celui-ci doit être :

(i) aussi apparent que possible;

(ii) d'une taille compatible avec celle du conteneur sur lequel il est apposé, ou de la zone, de la salle, de l'enceinte ou du véhicule pour lequel il est apposé;

(iii) orienté avec une feuille pointée vers le bas et centrée sur l'axe vertical;

(iv) aucune inscription ne doit être superposée sur le symbole.

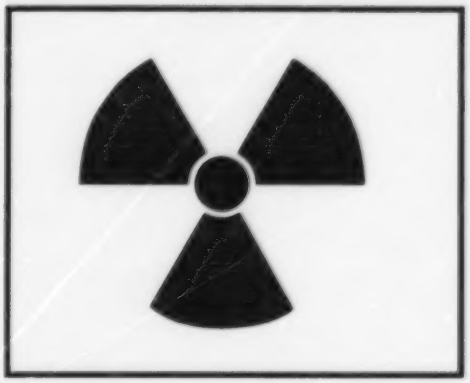
Affichage inutile des panneaux

On ne doit pas placer un panneau de mise en garde contre les rayonnements à un endroit où il n'y a pas de débit de dose de rayonnement ou de matière radioactive indiquées sur le panneau.

Dossiers que doit tenir l'employeur

Chaque employeur doit tenir un dossier avec le nom et la catégorie de travail de chaque travailleur exposé professionnellement.

Figure G -1
Symbole de mise en garde contre les rayonnements



Note :

Les trois feuilles et le disque central du symbole doivent être :

(a) de couleur noire ou rouge violacé;

(b) placées sur un fond de couleur jaune.

G ANNEXE

Glossaire des rayonnements

Activité (radioactivité). Nombre de transformations nucléaires qui se produisent dans une quantité de matière par unité de temps. Unité : becquerel (Bq), 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

Activité massique (ou spécifique) (ou concentration radioactive). Nombre de becquerels par unité de masse d'une matière. Unités : Bq/g et kBq/kg.

AIEA. Agence internationale de l'énergie atomique.

ALARA. Acronyme de l'expression anglaise « As low as reasonably achievable » (le plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre) compte tenu des facteurs économiques et sociaux. Principe directeur de la radioprotection.

Analyse radiochimique. Analyse de la teneur radioactive d'un échantillon de MRN. L'analyse radiochimique permet de déterminer et de quantifier la concentration de divers radionucléides dans l'échantillon de MRN.

Becquerel (Bq). Unité de radioactivité SI qui correspond à une transformation nucléaire par seconde. Utilisé comme mesure de la quantité d'un radionucléide du fait que le nombre de transformations (désintégrations) radioactives est directement proportionnel au nombre d'atomes du radionucléide présent. Remplace l'ancienne unité, le curie (Ci).

Blindage. Réduction de l'intensité du faisceau de rayonnement en interposant entre la source et un objet ou la personne susceptible d'être exposé une substance qui absorbe l'énergie de rayonnement soit par collision, dans le cas du rayonnement de particules, ou par absorption de l'énergie de forme d'onde, dans le cas des photons gamma.

CIPR. Commission internationale de protection radiologique.

Coefficient de dose (CD). Facteur qui associe la quantité de dose de rayonnement (Sv) transmise à l'organisme par unité d'activité (becquerel) et absorbée dans l'organisme. Unité : (Sv/Bq).

Contamination (contamination radioactive). Présence d'une ou de plusieurs substances radioactives sur ou dans une matière ou dans un lieu où elles sont indésirables ou potentiellement nuisibles.

Contrainte de dose. Limite supérieure de la dose annuelle que les membres du public ou les travailleurs exposés occasionnellement devraient recevoir d'une opération planifiée ou d'une source unique.

Curie (Ci). Unité d'activité équivalant à $3{,}7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde. Remplacé dans l'usage international par le becquerel.

Descendants du radon. Produits de désintégration du radon (^{222}Rn) ou du thoron (^{220}Rn) à périodes courtes. Les produits de désintégration du radon comprennent le polonium 218 (RaA), le plomb 214 (RaB), le bismuth 214 (RaC) et le polonium 214 (RaC'). Les produits de désintégration du thoron comprennent le polonium 216 (ThA), le plomb 212 (ThB), le bismuth 212 (ThC), le polonium 212 (ThC') et le thallium 208 (ThC'').

Désintégration (désintégration radioactive). Processus suivi par un noyau instable pour gagner de la stabilité en libérant de l'énergie dans la forme des particules et/ou le rayonnement électromagnétique. Les MRN se désintègrent avec la libération de particules alpha, de particules bêta et/ou de photons gamma.

Dose absorbée. Énergie moyenne déposée par rayonnement ionisant par masse unitaire du corps ou organe ou tissu du corps. Unité : gray (Gy), 1 Gy = 1 joule par kilogramme.

Dose efficace. Dose de rayonnement pour les limites de dose de rayonnement primaires. Elle représente la somme des doses équivalentes reçues par différents

tissus du corps humain, chacune multipliée par un « facteur de pondération des tissus » (w_T). Unité : sievert (Sv).

Dose engagée. Dose totale reçue provenant d'une substance radioactive dans le corps pendant le reste de la vie d'une personne (présumée de 50 ans pour les adultes et de 70 ans pour les enfants) à la suite de l'incorporation du radionucléide.

Dose incrémentielle. Dose de rayonnement dépassant la dose du fond de rayonnement local.

Dosimètre. Dispositif, porté par une personne, qui sert à mesurer une dose de rayonnement reçue par une personne.

Durée restante de la grossesse. Période allant du moment où un employeur est informé de la grossesse jusqu'à la fin de la grossesse.

Empilement de phosphogypse. Empilement de phosphogypse se rapporte au stockage de phosphogypse, un sous-produit d'engrais, dans de gros tas à l'extérieur.

Équilibre (radioactif). Dans une série de désintégration (ou famille) radioactive, état qui règne quand le rythme auquel les descendants sont produits est égal au rythme auquel ils se désintègrent. Cette forme d'équilibre ne peut être atteinte que si le précurseur a une période très longue par rapport à tout membre de la chaîne de désintégration. Tous les membres d'une famille radioactive de MRN en équilibre ont la même radioactivité.

Équivalent de dose. Dose absorbée multipliée par un « facteur de pondération de rayonnement », (w_R) visant à rendre compte des différentes possibilités de lésion causées par les divers types de rayonnement. Unité : sievert (Sv).

Facteur de pondération des rayonnements (w_R). Valeur recommandée par la Commission internationale de protection radiologique, et généralement adoptée par les organismes de réglementation nationaux, pour convertir la dose absorbée provenant de divers types de rayonnement ionisant en son équivalent de dose au point de vue des dommages biologiques provenant du rayonnement alpha, bêta ou gamma. Dans le cas des rayons gamma et des particules bêta, $w_R = 1$. Dans le cas des particules alpha et des neutrons rapides, $w_R = 20$.

Facteur de pondération des tissus (w_T). Facteur de pondération établi par la CIPR qui attribue une part relative du détriment de dose total à des organes et tissus particuliers. On peut quantifier les risques de radioexposition localisés à des organes et tissus particuliers.

Famille radioactive (série de désintégration radioactive). Succession de radionucléides, dont chaque membre se transforme par décroissance (désintégration) radioactive en élément suivant jusqu'à l'obtention d'un nucléide stable. Le premier membre est appelé le « père », les membres intermédiaires sont appelés « descendants » et le membre stable final est appelé « produit terminal ». Dans les deux familles radioactives MRN, l'uranium 238 et le thorium 232 sont les « pères » et le plomb 206 et le plomb 208 sont les « produits terminaux ».

Fond de rayonnement. Rayonnement auquel une personne est exposée en provenance de sources de rayonnement naturel comme le rayonnement terrestre des radionucléides dans le sol, le rayonnement cosmique de l'espace et les radionucléides naturels déposés dans le corps en provenance d'aliments, etc.

Gray (Gy). La radiolésion dépend de l'absorption d'énergie de rayonnement et est approximativement proportionnelle à la concentration d'énergie absorbée dans le tissu. Le gray est l'unité SI de dose de rayonnement absorbée qui correspond à l'absorption d'un joule d'énergie de rayonnement par kilogramme de matière. Dans les cas des rayonnements gamma et bêta, le gray est égal numériquement au sievert.

Limite annuelle d'incorporation (LAI). Incorporation par inhalation, ingestion ou par la peau d'un radionucléide donné au cours d'une année par l'homme de référence qui entraînerait une dose engagée à la limite de dose pertinente. La LAI est exprimée en unités d'activité.

Limite pratique dérivée (LPD). Limite pratique dérivée des limites réglementaires. On peut comparer les limites pratiques dérivées aux valeurs mesurées sur les lieux de travail pour évaluer la conformité aux limites réglementaires.

Limites de rejet dérivées inconditionnelles. Dans la classification non limitée, activité radioactive de MRN au-dessous de laquelle on peut rejeter des MRN dans le domaine public sans restrictions.

Masse atomique (numéro de masse). Masse totale de protons et de neutrons contenus dans le noyau d'un atome.

MRN diffuse. Matière contaminée par une MRN dans laquelle la concentration radioactive est dispersée uniformément. Elle a généralement une faible concentration radioactive et un volume relativement important.

MRN discrète. Matière contaminée par une MRN dans laquelle les substances radioactives sont concentrées, ou ne sont pas uniformément dispersées dans la matière. En général sa concentration radioactive est bien supérieure dans un volume localisé que la MRN diffuse.

MRN (matières radioactives naturelles). MRN est l'acronyme de matières radioactives naturelles comprenant les éléments radioactifs que l'on trouve dans l'environnement. Les éléments radioactifs à longue période visés comprennent l'uranium, le thorium et le potassium ainsi que tous leurs produits de désintégration radioactive respectifs comme le radium et le radon. Certains de ces éléments ont toujours été présents dans la croûte terrestre et à l'intérieur des tissus de tout être vivant. Bien que la concentration de MRN dans la plupart des substances naturelles soit faible, de plus fortes concentrations peuvent être dues aux activités humaines.

Numéro atomique. Nombre de protons contenus dans le noyau d'un atome. Ce nombre donne à chaque atome son identité chimique distincte.

Période de dosimétrie de cinq ans. Période de cinq années civiles qui commencent le 1er janvier de l'année qui suit l'année à laquelle le programme de gestion de radioprotection a débuté, et, par la suite, toute période de cinq années civiles.

Période de dosimétrie d'un an. Période d'une année civile commençant le 1er janvier de l'année qui suit celle pendant laquelle le programme de gestion de radioprotection a débuté, et, par la suite, toute période d'une année civile.

Période radioactive. Temps nécessaire pour qu'une matière radioactive perde la moitié de son activité par désintégration radioactive.

Période biologique. Temps nécessaire pour que l'organisme élimine la moitié de la quantité d'une substance absorbée. Facteur important quand on détermine le coefficient de dose d'un radionucléide.

Photons (rayons X ou rayons gamma). Voir rayonnement gamma.

Rad. Ancienne unité de rayonnement pour mesurer l'absorption de radioactivité (dose), équivalant à 100 ergs par gramme dans n'importe quel milieu. RAD est l'acronyme de « Radiation Absorbed Dose » (dose absorbée de rayonnement). Maintenant remplacé dans le système international d'unités par le gray (Gy).

Radionucléide ou radio-isotope. Forme particulière d'un élément, caractérisée par une masse atomique et un numéro atomique particuliers, dont le noyau atomique est instable et se désintègre selon une probabilité statistique caractérisée par sa période physique.

Radium 226. Élément radioactif ayant une période de 1 600 ans. C'est un produit de désintégration de l'uranium naturel particulièrement dangereux, et il est fréquemment le nucléide MRN dominant. Il se désintègre en gaz radioactif, radon 222.

Radon. Seul gaz radioactif produit durant les processus de désintégration radioactive. Deux de ses radio-isotopes sont présents, le radon et le thoron, chacun étant un produit de désintégration du radium. Le radon (^{222}Rn) appartient à la série de désintégration de l'uranium tandis que le thoron (^{220}Rn) appartient à la série de désintégration du thorium.

Rayonnement du sol. Rayonnement détectable à la surface de la terre provenant de substances radioactives sur ou sous la surface.

Rayonnement bêta (désintégration bêta). Éjection d'une particule subatomique à haute énergie chargée négativement provenant du noyau d'un atome instable. Une particule bêta est identique en masse et en charge à un électron.

Rayonnement alpha (désintégration alpha). Particule de haute énergie chargée positivement ejectée du noyau d'un atome instable (radioactif), composé de deux protons et de deux neutrons. Une particule alpha est un noyau d'hélium.

Rayonnement gamma (rayons gamma ou photons gamma). Rayonnement électromagnétique ou énergie photon émise par un noyau instable qui est en voie de se débarrasser de son énergie excédentaire. Les rayons gamma très pénétrants perdent de l'énergie quand ils passent à travers des atomes de matière.

Rem. Ancienne unité d'équivalent de dose humain. Rem est l'acronyme de « roentgen equivalent man » et a été remplacé en 1977 par le sievert dans le système international d'unités.

Roentgen (R). Unité classique d'ionisation par rayonnement dans l'air, fréquemment utilisée à tort comme unité d'exposition chez les humains. Remplacé dans le système international d'unités par le « coulomb par kg dans l'air ».

Seuil de dosimétrie personnelle. Dose efficace annuelle au-dessus de laquelle la dosimétrie des rayonnements des travailleurs individuels est prescrite.

SI (Système International). Système « métrique » d'unités généralement fondé sur les unités mètre/kilogramme/seconde. Les quantités spéciales pour le rayonnement comprennent le becquerel, le gray et le sievert.

Sievert (Sv). Unité de l'équivalent de dose, H, qui est utilisée aux fins de radioprotection pour les critères de conception technique et aux fins juridiques et administratives. Le sievert est l'unité SI de la dose de rayonnement absorbée dans les organismes vivants modifiés par le type de rayonnement et les facteurs de pondération des tissus. L'unité de dose pour les termes « dose équivalente » et « dose efficace ». Il remplace l'unité de rayonnement classique, le rem. Les fractions de sieverts (Sv) utilisés dans les *Lignes directrices* comprennent les millisieverts (mSv) et les microsieverts (μSv).

Travailleurs exposés occasionnellement. Employés qui ne devraient pas normalement être exposés au rayonnement de MRN. La limite de dose annuelle du public de 1 mSv s'applique à cette catégorie de travailleurs dans un milieu d'exposition professionnelle – le domaine professionnel.

Travailleurs exposés professionnellement (travailleurs MRN). Employés qui s'attendent à recevoir une exposition aux sources de rayonnement de MRN au cours de leurs tâches normales. La limite de dose professionnelle annuelle de 20 mSv s'applique à cette catégorie de travailleurs dans un milieu d'exposition professionnelle.

Unité alpha (WL). Unité d'énergie potentielle alpha résultant de la présence de descendants du radon égale à l'émission de $1{,}3 \times 10^5$ MeV d'énergie alpha par litre d'air. En unités SI, le n équivaut à $2{,}08 \times 10^{-5}$ joules par mètre cube (J/m^3).

Unité alpha-mois (WLM). Mesure de l'exposition cumulée aux descendants du radon dans l'air. Un niveau opérationnel-mois est l'exposition reçue par une personne qui inhale de l'air contenant une concentration de descendants du radon de 1 n pour une période de 170 heures, soit le nombre d'heures d'un mois de travail normal. Une nm équivaut à 3,54 mJ h m^{-3}.